Ir. HEINZ FRICK

ILMU dan ALAT UKUR TANAH

Ir. HEINZ FRICK

ILMU dan ALAT UKUR TANAH

ALAT PENYIPAT DATAR
ALAT UKUR SUDUT
PENGUKUR JARAK DAN
TRIANGULASI SEDERHANA

PENERBIT KANISIUS

Ilmu dan Alat Ukur Tanah
028041
© Kanisius 1979

PENERBIT KANISIUS (Anggota IKAPI)
Jl. Cempaka 9, Deresan, Yogyakarta 55281
Kotak Pos 1125/Yk, Yogyakarta 55011
Telepon (0274) 588783, 565996; Fax (0274) 563349
Website : www.kanisiusmedia.com
E-mail : office@kanisiusmedia.com

Cetakan ke- 20 19 18

Tahun 06 05

ISBN 979-413-230-6

Hak Cipta dilindungi Undang-undang.
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apa pun, termasuk fotokopi, tanpa izin tertulis dari penerbit.

Dicetak oleh Percetakan Kanisius Yogyakarta

Kata pengantar
Ilmu dan alat ukur tanah

Buku ini berasal dari dua buku berbahasa Jerman bernama *'Nivellieren'* dan *'Der Theodolit und seine Anwendung'* Buku-buku tsb. karya Tn. O. Trutmann dan diterbitkan oleh perusahaan Wild Heerbrugg Ltd, Precision Engineering, Optics and Electronics, CH-9435 Heerbrugg, Swis.

Buku ini bukan dimaksud sebagai ilmu ukur tanah secara keilmuan dan berteknologi tinggi, melainkan sebagai buku dasar, bantuan pada penggunaan alat ukur tanah pada praktek. Buku ini memberikan keterangan mengenai teknik dan penggunaan alat ukur tanah. Sebagai buku lanjutan diusulkan misalnya *'Ilmu ukur tanah'* oleh Prof. Ir. Jacub Rais, M.Sc.

Buku ini disediakan dalam rangka kerja sama dengan perusahaan Wild Heerbrugg Ltd., Ch-9435 Heerbrugg, Switzerland.
dan diterjemahkan oleh:
Ir. Heinz Frick, ITKS — Institut Teknologi Katolik
Jalan Pandanaran 100, Semarang

Penerbit

Kata Pengantar (edisi kedua)

Buku 'alat ukur tanah' edisi pertama dalam waktu yang sangat singkat habis terjual. Atas dasar kritik dan usul dari para pemakai, buku tersebut di perbaharui dan diberi judul baru: Ilmu dan alat ukur tanah.
Saran dan kritik atas isi dan bentuk buku ini, baik dikirimkan kepada Penerbit Yayasan Kanisius Yogyakarta, maupun kepada penterjemah: Ir. Heinz Frick, P.G. Box 113, 9491 Ruggell, Principality of Liechtenstein, Eropa, selalu kami harapkan dan akan kami terima dengan senang hati.

Ruggell, September 1984
Ir. Heinz Frick

Kata sambutan

Kami menyambut dengan hangat diterbitkannya buku ini guna melengkapi khazanah Indonesia dalam bidang Ilmu Ukur Tanah. Sangat terasa oleh Mahasiswa dan pengajar betapa kurangnya bacaan dalam bahasa Indonesia mengenai bidang ilmu ini sehingga setiap usaha untuk menulis buku, apakah itu terjemahan atau karya tulisan sendiri, patut mendapat penghargaan.

Dengan diterbitkannya buku ini, kami mengucapkan terima kasih kepada Ir. Heinz Frick yang telah dapat membantu mahasiswa dalam studi di mana Ilmu Ukur Tanah menjadi mata kuliah yang dipelajarinya. Buku ini kiranya juga sangat bermanfaat bagi setiap surveyor yang setiap harinya bekerja dengan theodolit dan alat ukur sipat datar.

Semoga buku ini mencapai sasaran yang diharapkan.

Jakarta, 18 Januari 1979

Prof. Ir. Jacub Rais, M.Sc.
Guru Besar Geodesi ITB.

Isi buku

1. Pengukuran dengan alat penyipat datar

1.1. Pengetahuan dasar 9
1.2. Alat penyipat datar 10
1.2.1. Bagian-bagian alat penyipat datar Ketelitian, Kepekaan nivo tabung, Teropong, Pembesaran bayangan 12
1.2.2. Data-data tentang alat penyipat datar Wild 18
1.3. Memeriksa dan mengatur alat penyipat datar 20
1.4. Teknik penyipatan datar 23
1.5. Menyipat datar memanjang 26
1.5.1. Menyipat datar memanjang keliling 31
1.5.2. Menyipat datar memanjang dengan menghubungkan pada titik tertentu 31
1.5.3. Profil memanjang dan profil melintang 37
1.5.4. Ketentuan kelengkungan dengan alat penyipat datar 40
1.6. Menyipat datar pada bidang 41
1.6.1. Pengukuran situasi 43
1.6.2. Sistem kisi (grid) 44
1.6.3. Tachimetri pada penyipatan datar 45
1.6.4. Penentuan garis kontur di lapangan 49
1.6.5. Penentuan kemiringan/kelandaian 49
1.6.6. Menyipat datar dengan bantuan permukaan air 51

2. Pengukuran dengan alat ukur sudut

2.1. Pengetahuan dasar 54
2.1.1. Jaringan segitiga (triangulasi) 55
2.1.2. Rangkaian segi banyak (poligon) 58
2.2. Macam-macam alat ukur sudut Wild 58
2.2.1. Teodolit Universil Wild T2 60
2.2.2. Teodolit Wild T3 63
2.2.3. Teodolit repetisi dan teodolit tachimetri 63
2.2.4. Teodolit kompas Wild T0 65
2.2.5. Teodolit Wild T05 66
2.2.6. Data-data tentang alat ukur sudut 66

a) Nivo tabung koinsidensi, b) Bayangan teropong, c) Medan pandangan, d) Pembesaran, e) Data-data tentang alat ukur sudut Wild
2.2.7. Sifat-sifat penting pada teodolit ... 70
a) Pengaturan sumbu-sumbu, b) Pemeriksaan dan cara mengatur sumbu
2.2.8. Pemilihan teodolit yang cocok ... 73
2.3. Perhitungan kesalahan ... 74
2.3.1. Jenis-jenis kesalahan ... 74
2.3.2. Kesalahan rata-rata ... 76
2.3.3. Kesalahan rata-rata kuadratis ... 76
2.3.4. Kesalahan perkiraan ... 77
2.3.5. Perambatan kesalahan ... 78
a) Pada suatu penjumlahan, b) Pada suatu perkalian, c) Dengan kombinasi perambatan kesalahan
2.4. Sistem koordinat ... 80
2.4.1. Ketentuan empat kuadran ... 81
2.4.2. Penentuan koordinat dari sudut-arah t dan jarak d ... 83
2.4.3. Penentuan sudut-arah t dan jarak d dari koordinat ... 84
2.4.4. Contoh-contoh ... 87
2.5. Pengukuran sudut-sudut ... 89
2.5.1. Metode mengukur sudut cara repetisi ... 89
2.5.2. Metode mengukur sudut cara reiterasi ... 90
2.5.3. Metode dengan mengukur jurusan ... 92
2.5.4. Metode dengan mengukur sektor-sektor ... 95
2.6. Pengukuran jarak secara optis ... 95
2.6.1. Penggunaan rambu yang vertikal ... 96
a) Asas Reichenbach, b) Alat ukur sudut dengan reduksi otomatis
2.6.2. Penggunaan rambu yang horisontal ... 100
a) Baji optis Richard, b) Tachimeter dengan reduksi otomatis
2.6.3. Penggunaan rambu-dasar yang horisontal ... 104
a) Pengukuran jarak tunggal, b) Pengukuran jarak terbagi, c) Pengukuran jarak dengan rambu-dasar bantuan
2.7. Pengukuran jarak secara elektronis ... 109
2.7.1. Wild Disomat DI 4 ... 109
2.7.2. Sistem Wild Tachimat elektronis TC 1 ... 112

2.8. Penggunaan alat-alat ukur sudut pada praktek ... 115
2.8.1. Jaringan triangulasi sederhana ... 115
a) Jaringan dasar, b) Jaringan segitiga, c) Pemilihan alat ukur sudut, d) Peninjauan jaringan segitiga, e) Perhitungan jaringan segitiga, f) Daftar koordinat-koordinat
2.8.2. Pengukuran tinggi trigonometris ... 133
a) Kelengkungan bumi, b) Refraksi, c) Pelaksanaan pengukuran tinggi
2.8.3. Jaringan poligon ... 138
a) Pengukuran sudut-sudut, b) Sisi-sisi poligon, c) Penentuan koordinat-koordinat, d) Pengikatan kepada titik-titik yang tidak dapat dicapai, e) pengukuran poligon dengan pemusatan paksa
2.8.4. Pengukuran poligon kompas ... 153
a) Rumus-rumus pada perambatan kesalahan, b) Poligon dengan cara melompat tiap satu titik sudut
2.8.5. Pengukuran guna pembuatan peta ... 158
a) Pengukuran koordinat siku-siku, b) Metode koordinat polar, c) Pendaftaran tanah, d) Peta topografi, e) Pembuatan peta
2.9. Pemeliharaan alat-alat ukur tanah ... 172

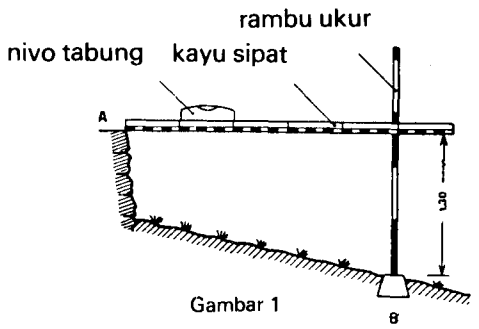
3. Lampiran

3.1. Daftar istilah penting ... 173
3.2. Hasil produksi perusahaan Wild Heerbrugg LTD, Swis (dalam bahasa Inggeris) ... 178

1. Pengukuran dengan alat penyipat datar

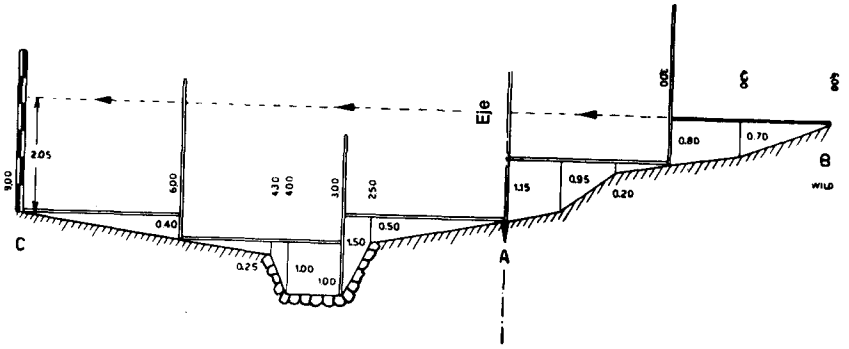
1.1. Pengetahuan dasar

Menyipat datar adalah menentukan/mengukur beda tinggi antara dua titik atau lebih. Ketelitian penentuan ukuran tergantung pada alat-alat yang digunakan serta pada ketelitian pengukuran dan yang dapat dilaksanakan. Biasanya kayu sipat merupakan alat pertolongan yang paling sederhana pada penentuan beda tinggi beberapa titik tertentu. Kayu sipat biasanya sebuah papan yang lurus dan sekitar 3.00 m panjangnya, kita pegang horisontal dengan bantuan sebuah nivo tabung. Kemudian dengan sebuah rambu ukur, beda tinggi antara dua titik tertentu A dan B dapat kita tentukan seperti terlihat pada gambar 1 berikut.



Gambar 1

Cara ini umumnya dapat dilakukan untuk menentukan dan menggambar profil memanjang dan profil melintang. Bilamana panjang profil yang kita inginkan lebih panjang dari kayu sipat, maka pengukuran kita lakukan beberapa kali seperti terlihat pada gambar 2 berikut.

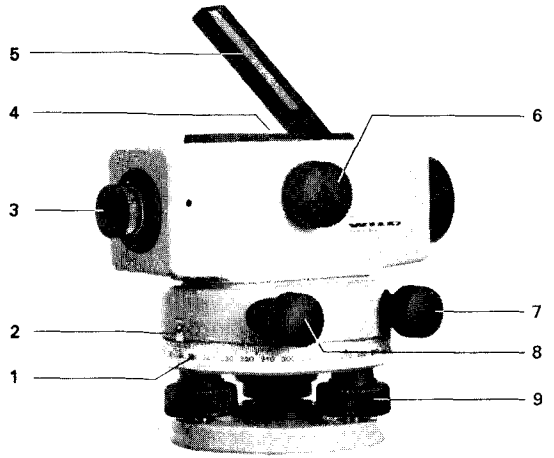


Gambar 2

Pada penentuan beda tinggi dua titik yang jauh, pengukuran dengan kayu sipat menjadi sukar dan kurang teliti. Jikalau kita mencari beda tinggi antara titik *B* dan *C* (Gambar 2), pelaksanaannya dapat kita lakukan menurut gambar itu dengan hasil $-0.80 - 1.15 - 1.50 + 1.00 + 0.40 = -2.05$ m. Tetapi kayu sipat dipakai lima kali dan di-horisontalkan dengan nivo tabung juga lima kali. Kita dapat juga memasang sebuah kayu sipat dengan nivo tabung pada titik *B* dan menyipat sepanjang sisi kayu sipat dan membaca rambu ukur yang didirikan pada titik *C*. Sasaran itu lebih mudah kita capai dengan alat bidik sederhana atau dengan celah pejera dan pejera seperti pada sebuah bedil. Alat ini dapat dipasang pada suatu statif (kaki tiga) atau dipegang tangan saja. Pada alat bidik yang dipegang tangan kita harus memperhatikan sasaran dan nivo sekaligus.
Akan tetapi alat bidik ini masih kurang teliti karena kita membaca rambu ukur langsung (tanpa teropong). Jaraknya agak terbatas.

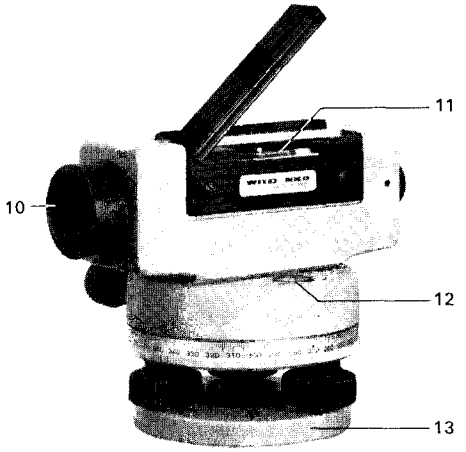
1.2. Alat penyipat datar

Jikalau kita ingin menentukan beda tinggi pada jarak jauh dengan teliti, garis bidik harus kita tentukan dengan suatu alat bidik yang teliti tanpa ada paralaks dan untuk membaca mistar diperlukan sebuah teropong. Atas dasar dua ketentuan ini dikonstruksikan semua alat penyipat datar.



Gambar 3

1 lingkaran horisontal berskala
2 skala pada lingkaran horisontal
3 okuler teropong
4 alat bidik dengan celah pejera
5 cermin nivo
6 sekrup penyetel fokus
7 sekrup penggerak horisontal
8 sekrup ungkit
9 sekrup pendatar
10 obyektif teropong
11 nivo tabung
12 nivo kotak
13 kepala kaki tiga



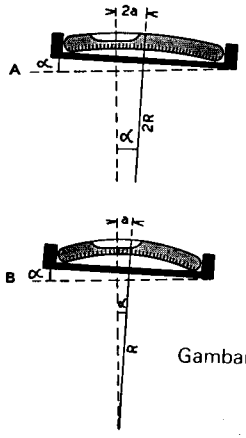
Gambar 4

Alat-alat penyipat datar yang sederhana (lihat gambar 3 dan 4 di atas) terdiri dari sebuah teropong dengan garis bidiknya (garis vizier) dapat dibuat horisontal dengan sebuah nivo tabung (11). Untuk mencari sasaran sembarang sekeliling alat penyipat datar, maka teropong dan niveau tabung dapat diputar pada sumbu pertama yang dapat diatur pada tiga sekrup pendatar (9). Dengan sekrup penyetel fokus (6) bayangan rambu ukur dapat disetel tajam. Dengan sekrup penggerak horisontal (7) bayangan dapat disetel tajam.

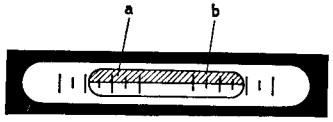
Cermin yang dapat diputar ke atas (5) memungkinkan kita mengawasi nivo tabung dari okuler teropong (3). Dalam keadaan tertutup cermin itu melindungi nivo tabung.
Makin lama alat penyipat datar mengalami perkembangan.
Suatu perlengkapan menentukan garis bidik horisontal secara automatis oleh pengaruh gaya-berat, jikalau garis bidik disetel dahulu kira-kira dengan ketelitian ± beberapa menit busur, menggantikan nivo tabung.

1.2.1. Bagian-bagian alat penyipat datar

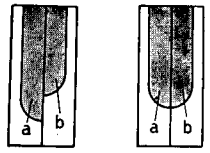
Ketelitian suatu alat penyipat datar dengan nivo tabung, tergantung dari kepekaan nivo tabung dan pembesaran teropong.
Kepekaan nivo tabung (lihat juga bab 1.2.2. Data-data tentang alat penyipat datar Wild) ditentukan oleh jari-jari kelengkungan tabung nivo. Gambar 5 memperlihatkan dua nivo tabung dengan jari-jari kelengkungan yang berbeda. Pada kemiringan α yang sama, gelembung pada nivo tabung *A* bergerak lebih jauh daripada gelembung nivo tabung *B*, karena jari-jari busur pada nivo tabung *A* menjadi lebih besar. Karena itu perubahan gelembung dapat diawasi lebih mudah. Pada bab 1.2.2. (Data-data tentang alat penyipat datar Wild) kepekaan nivo tabung ditentukan demikian rupa, sehingga ukuran sudut itu menentukan suatu pergeseran gelembung sebesar 2 mm. Ketelitian pada suatu gelembung pada nivo tabung bisa menjadi 1/5 dari nilai itu, yaitu 0,4 mm. Akan tetapi dengan menggunakan suatu nivo tabung koinsidensi ketelitian itu menjadi 1/40, yaitu 0,05 mm. Sebaliknya suatu nivo tabung biasa dapat kita pusatkan lebih cepat dan lebih mudah, karena nivo tabung itu kurang peka terhadap pengaruh-pengaruh luar seperti sinar matahari, perubahan suhu dsb.



Gambar 5

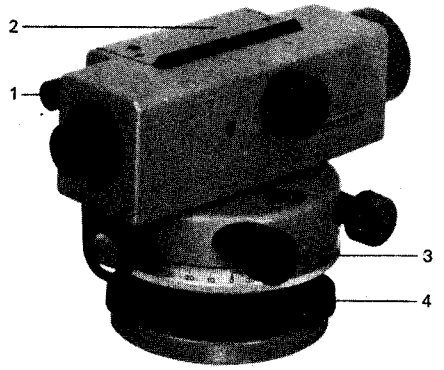


Gambar 6



Gambar 7

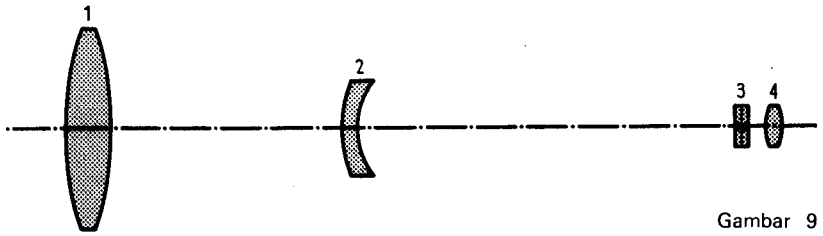
1 kaca pembesar
2 tutup pada nivo tabung
3 sekrup ungkit
4 sekrup pendatar



Gambar 8

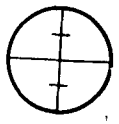
Gambar 6 memperlihatkan gelembung pada suatu nivo tabung dengan skala terbuka yang telah di-horisontal-kan. Gambar 7 memperlihatkan gelembung pada suatu prisma koinsidensi Wild. Dengan menggunakan prisma dapat kita perhatikan bagian gelembung kiri atas a dan kanan atas b sekaligus. Nivo tabung menjadi horisontal, jikalau dua ujung itu seimbang (mengkoinsidensi-kan). Pengawasan dapat dilakukan dengan bantuan suatu kaca pembesar (1), lihat gambar 8 di atas, yang sebelah kiri dari okuler teropong. Penggunaan prisma koinsidensi ini memungkinkan pemasangan suatu tutup pada nivo tabung (2) sehingg nivo tabung itu dilindungi terhadap sinar matahari, dan selanjutnya meningkatkan ketelitian pada putaran vertikal teropong. Jikalau pada suatu alat penyipat datar biasa nivo tabung dapat disetel dengan tiga sekrup pen datar (4), pada prisma koinsidensi diperlukan tambahan sebuah sekrup ungkit (3) yang tidak mengubah sumbu pertama.

Teropong. Gambar 9 memperlihatkan skematis penampang memanjang suatu teropong sederhana.



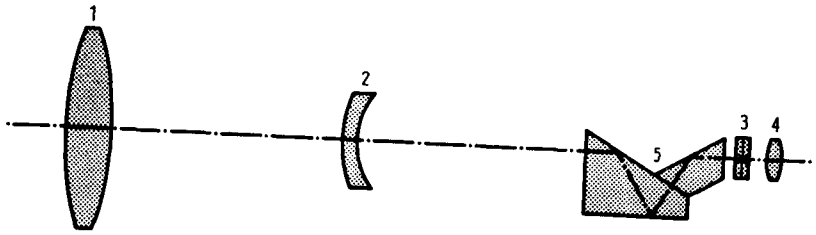
Gambar 9

Sinar cahaya yang masuk pada obyek*if (1) membentuk bayangan antara/ diafragma (3) suatu bayangan terbalik dari rambu ukur yang diperhatikan. Bayangan rambu ini diperbesar oleh okuler (4). Di situ juga ada pemasangan benang-silang yang digores pada suatu pelat kaca, seperti dilihat pada gambar 10 berikut:



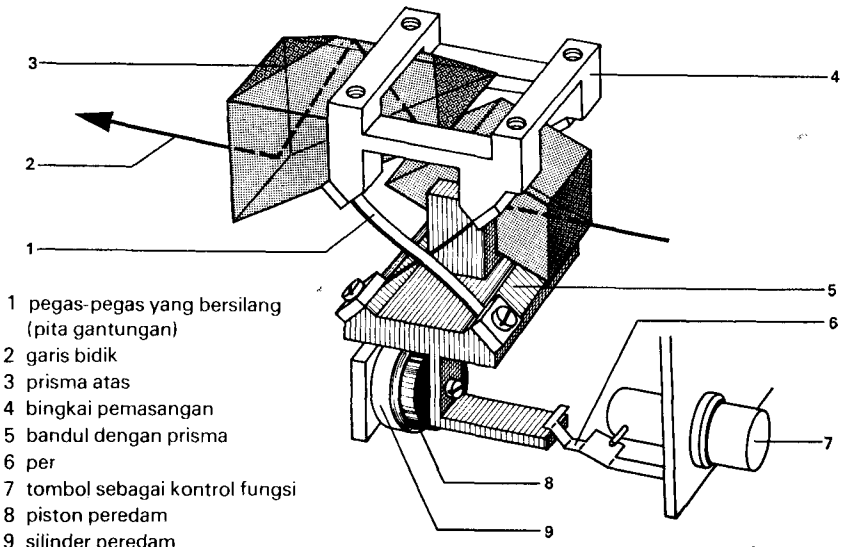
Gambar 10

Okuler teropong (4) harus diputar sampai benang-silang dapat dilihat tepat dan tajam. Penyetelan ini tidak usah diubah lagi untuk mata yang sama. Titik potong pada benang-silang menjadi titik pusat pada objektif dan garis bidik teropong. Agar jarak pada benang-silang dapat diukur, ada tambahan dua benang horisontal yang dinamakan benang stadia, dengan jarak yang ditentukan demikian, sehingga ukuran pada rambu ukur yang dilihat diantaranya dikalikan dengan 100 adalah jarak antara alat penyipat datar dan rambu ukur. Karena jarak itu biasanya lebih kecil dari 100 m, teropong dilengkapi dengan suatu lensa koreksi (2) supaya bayangan selalu dapat disetel tajam juga. Jarak terkecil, tergantung pada alat penyipat datar, adalah antara 0.80 m dan 2.20 m (lihat juga bab 1.2.2. Data-data tentang alat penyipat datar Wild).



Gambar 11

Karena bayangan pada teropong biasa terbalik, maka dalam penggunaan kita harus membiasakan diri sedikit. Bisa juga digunakan rambu ukur dengan angka-angka terbalik, sehingga pada bayangan terbalik angka-angka itu dapat dibaca tegak. Dengan perlengkapan prisma balik pada teropong menurut gambar 11 di atas kekurangan itu dapat diatasi. Semua alat penyipat datar Wild mempunyai perlengkapan prisma balik itu. Lihat prisma balik (5) pada gambar 11 di atas.



Gambar 12

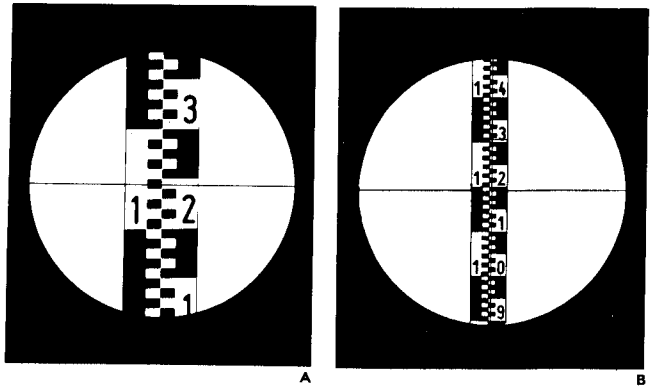
Pada *alat penyipat datar automatis Wild* bagian teropong tidak lagi menjadi begitu sederhana karena berisi juga perlengkapan penyetel garis bidik horisontal secara automatis. Perlengkapan itu terdiri dari sebuah bandul dengan prisma (5) yang digantungkan pada rumah-rumah alat penyipat datar dengan pegas-pegas yang bersilang (1), antara lensa koreksi dan kaca benang-silang. Pegas-pegas yang bersilang terdiri dari baja khusus sehingga perubahan bentuk oleh perubahan suhu selalu menjadi sejajar.
Simpangan bandul terbatas goyangan sebesar $\pm$ 15', cukup luas jikalau alat penyipat datar distel dengan niveau kotak. Goyangan bandul diredam dengan udara oleh piston (8) dan silinder (9). Alat penyipat datar mempunyai suatu **tombol sebagai kontrol fungsi** (7). Sebelum membaca pada rambu ukur kita menekan pada tombol yang menggoyangkan bandul dengan satu per (6) dan kita dapat memperhatikan bagaimana garis bidik dapat distel kembali sebagai garis yang horisontal. Dengan melakukan ini kita dengan cepat dapat memeriksa apakah alat penyipat datar masih betul horisontal. Jikalau tidak horisontal kita harus menyetel kembali alat penyipat datar dengan bantuan nivo kotak. Jikalau teropong sudah hosirontal benar, maka garis bidik dari rambu ukur melalui semua bagian-bagian optik jatuh pada titik potong benang-silang. Pada teropong yang miring, dan bagian-bagian optik tetap di tempat semula, berkas sinar dari rambu ukur tidak lagi kena titik potong benang-silang, melainkan suatu titik yang lebih tinggi atau lebih rendah. Sebagai koreksi perbedaan ini, maka prisma (5) mengalami

suatu kemiringan yang lebih besar daripada kemiringan teropong dan berjurusan berlawanan. Nilai kemiringan itu tergantung dari titik berat bandul yang ditentukan demikian rupa, sehingga berkas sinar selalu mengenai titik potong benang-silang. Atas dasar ketentuan ini boleh kita katakan: Suatu berkas sinar yang jatuh di pusat objektif dalam arah yang horisontal akan tetap kena titik potong benang-silang jikalau kemiringan teropong tidak lebih daripada $\pm$ 15'.

Pada penyipatan datar kita hanya perlu menyetel sumbu pertama sejajar anting dengan nivo kotak. Segera dapat dimulai dengan pengukuran yang terdiri dari empat bagian, yaitu:

1. teropong di-arah-kan ke rambu ukur dengan alat bidik (vizier)
2. bayangan teropong distel tajam
3. dengan sekrup penggerak _____ horisontal dipasang rambu ukur ke tengah-tengah bayangan
4. rambu ukur pada benang-silang dibaca

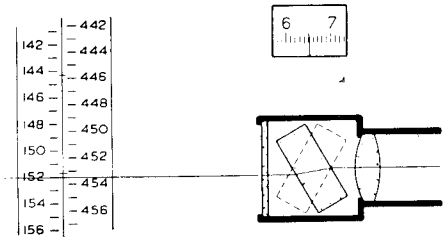
Pembesaran bayangan teropong (lihat juga bab 1.2.2. Data-data tentang alat penyipat datar Wild) menentukan ketelitian pembacaan pada rambu ukur. Karena rambu ukur pada penyipat datar biasanya dengan pembagian sentimeter saja. Bagian-bagian yang lebih kecil harus diperkirakan.



Gambar 13

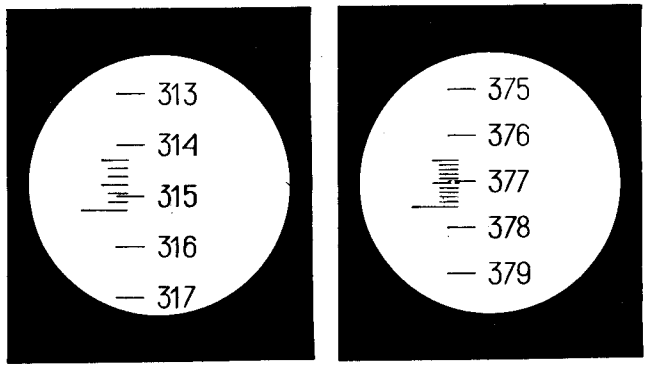
Jikalau pada gambar 13 teropong *A* membesarkan bayangan rambu ukur dua kali teropong *B* maka nilai milimeter dapat diperkirakan juga dua kali lebih teliti. Ini berarti juga, bahwa jarak rambu ukur pada teropong *A* dapat ditentukan sampai dua kali lebih jauh. Maka ketelitian masih lebih baik/ sama seperti pada teropong *B*.

Akan tetapi garis-tengah bayangan pada teropong *A* menjadi hanya separuh dari garis-tengah bayangan pada teropong *B*, jikalau garis-tengah objektifnya sama (lihat juga bab 1.2.2. ayat 6). Supaya penerangan bayangan pada teropong dengan pembesaran bayangan yang kuat masih cukup, biasanya diperlukan juga **garis-tengah objektif** yang lebih besar (lihat bab 1.2.2.).



Gambar 14
Pembacaan 152, 652 m

Pada penyipat datar yang sangat teliti perkiraan dalam milimeter tidak lagi memenuhi. Alat penyipat datar yang teliti sekali dilengkapi dengan suatu **kaca-datar-plan-paralel** yang dapat diputar ke muka objektif dan yang menggeser garis bidik sejajar sampai dengan satu sentimeter. Dengan perlengkapan ini kita dapat **mengukur** jarak antara dua benang stadia pada benang-silang dan garis sentimeter yang terdekat pada rambu ukur. Pergeseran garis bidik dapat dilakukan dengan memutar sekrup mikrometer yang memutar suatu kaca berskala yang memungkinkan pembacaan milimeter serta persepuluhan milimeter dan perkiraan perseratusan milimeter (lihat gambar 14).



Pembacaan 315° 17' (360°) Pembacaan 377.53g (400g) Gambar 15

Pada penentuan beda tinggi antara beberapa titik, **lingkaran horisontal berskala** (busur derajat) pada alat penyipat datar tidak diperlukan. Akan tetapi perlengkapan ini memudahkan ketentuan arah/jurusan titik masing-masing. Walaupun harus dijelaskan, bahwa karena lingkaran horisontal berskala ini suatu alat penyipat datar belum menjadi suatu teodolit atau sebaliknya. Tiap-tiap alat mempunyai tugas yang khusus: alat penyipat datar guna penentuan beda tinggi antara titik-titik, dan teodolit guna penentuan sudut-sudut dalam ruang.

Karena itu ketelitian lingkaran horisontal berskala pada alat penyipat datar sudah memenuhi hampir semua kebutuhan dengan menit saja.

Pada prinsipnya semua alat penyipat datar mempergunakan garis bidik yang horisontal. Akan tetapi ada perbedaan besar antara ketelitiannya. Karena itu adalah beberapa tipe alat penyipat datar, masing-masing sesuai dengan lingkungan kerjanya maupun kegunaannya.

1.2.2. Data-data tentang alat penyipat datar Wild

Pada tabel dengan data-data tentang alat penyipat datar Wild dapat diperhatikan kualitas dan ketelitian penyipatan pada tiap tiap tipe alat penyipat datar.

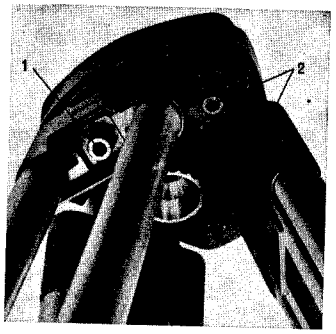
Data-data / alat penyipat datar tipe	NA 0 NAK 0	NA 1 NAK 1	NA 2 NAK 2	N 05 NK 05	N 1 NK 1	N 2 NK 2	N 3
1 pembesaran teropong							
bayangan tegak E	20	24	32/40	19	23	30	11-47 ④
bayangan terbalik U	E	E	E	E	E	E	– E
2 garis-tengah obyektifnya (mm)	30	38	45	25	30	40	52
3 konstant stadia	100	100	100	100	100	100	100 ④
4 jarak bidik terpendek (m)	0.9	1.0	1.6	0.8	0.7	1.6	0.4
5 Kepekaan nivo tabung per 2 mm	–	–	–	60″	60″	30″	10″
ketelitian menyetel gelembung	0.8″	0.5″	0.3″	10″	1.5″	0.8″	0.2″
6 medan pandangan dalam m/100 m	3.8	3.2	2.4	4.0	3.6	2.8	1.8
7 kesalahan normal pada menyipat			0.7 ②			20	
datar 1 km pulang-pergi	±2.5 ①	1.5 ①	0.3 ③	±5.0 ①	2.5	1.0 ③	0.2
8 barat sendiri alat penyipat datar	1.8	2.1/2.2	2.4/2.9	1.8	1.7/1.8	2.2/2.8	5.1
9 Buku petunjuk	G2 106 d	G2 107 d	G2 108 d	G2 150 d	G2 151 d	G2 103 d	G2 155 d
alat penyipat datar	G1 142 e	G1 143 e	G1 108 e	G1 150 e	G1 154 e	G1 131 e	G1 145 e

① kesalahan pada jarak bidik 30 m = ± 1 mm
② menurut mister dan cara menyipat yang digunakan
③ dengan mikrometer berkaca-datar-plan-paralel
④ tergantung pada jarak bidik

(Foto-foto alat penyipat datar Wild dapat dilihat pada bab 3.2. Hasil produksi perusahaan Wild Heerbrugg Ltd. Switzerland)

1.3. Memeriksa dan mengatur alat penyipat datar

Tiap-tiap alat penyipat datar disertai suatu buku petunjuk (lihat juga bab 1.2.2. Data-data tentang alat penyipat datar Wild). Daftar cara penggunaan memberi petunjuk mengenai persiapan, pemeriksaan dan pemeliharaan alat penyipat datar tersebut. Atas dasar instruksi-instruksi daftar cara penggunaan itu dalam rangka buku ini, cukup kalau kita memperhatikan prinsip-prinsip pengaturan alat penyipat datar (pengatur nivo).



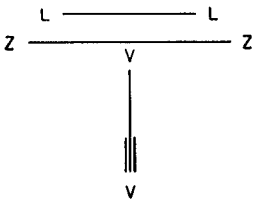
Gambar 17

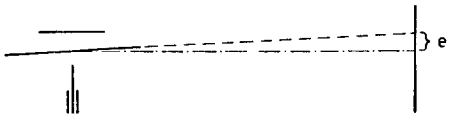
Gambar 16

Statif (kaki tiga) dibuat dari kayu yang kering dan dicat kuning dihubungkan dengan alat-alat sambungan besi. Karena oleh pengaruh iklim dan suhu sambungan-sambungan tsb. mungkin sedikit longgar. Walaupun mungkin alat penyipat datar dalam keadaan baik, hasil atau nilai sipatan menjadi buruk jikalau statif itu goyah.

Karena itu semua baut dan mur (lihat gambar 16 dan 17) harus dikeraskan demikian rupa, sehingga kaki yang dibuat dari kayu menjadi kaku pada sambungan kepala maupun sepatunya. Baut (1) menentukan sambungan kaki dengan kepala dan baut (2) memungkinkan penyetelan kekerasan penggerak engsel antara kaki tiga dan kepalanya.

Pada **alat penyipat datar** kita lakukan 'pengaturan nivo' hanya jikalau kesalahan yang terjadi begitu besar, sehingga mengganggu bayangan. Kesalahan yang kecil dapat diabaikan atas dasar peraturan yang masuk akal.

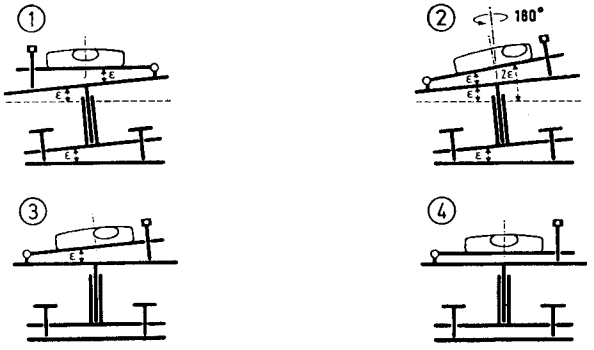




Gambar 18

Pada dasarnya hanya **satu** syarat yang harus kita perhatikan untuk menyipat tetap, yaitu garis bidik harus horisontal kalau nivo tabung disetel horisontal/sejajar. Jikalau syarat ini tidak dipenuhi, nilai yang kita baca pada mistar menjadi salah sebesar 8 seperti terlihat pada gambar 18 di atas.

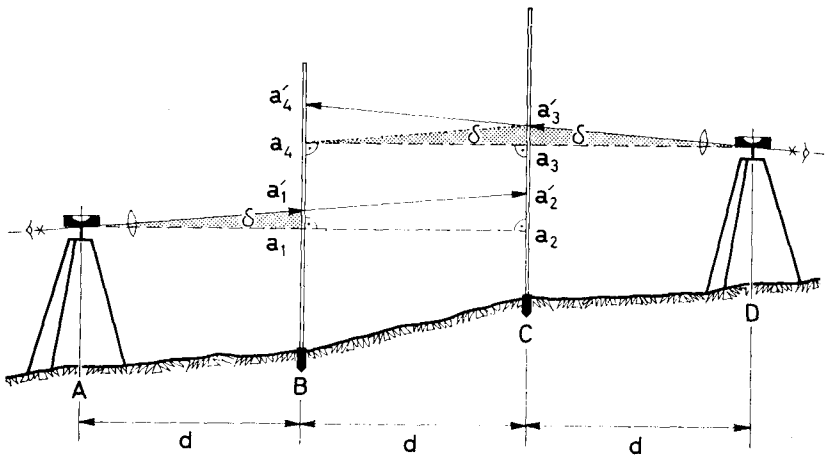
Pada **alat penyipat datar tanpa sekrup ungkit** sebaiknya kita pasang garis arah nivo *L-L* tegak lurus pada sumbu pertama *V-V,* karena tidak ada jalan lain untuk meng-horisontal-kan alat penyipat datar ini, dan gelembung pada tiap-tiap putaran teropong berubah tempatnya.



Gambar 19

Guna meneliti syarat tsb. di atas kita meng-horisontal-kan alat penyipat datar dengan nivo kotak dan mengarahkan teropong melalui (dengan) salah satu sekrup pendatar. Dengan bantuan sekrup pendatar ini kita menyetel nivo tabung seperti terlihat pada gambar 19 ①. Jikalau kita sekarang me-

mutar teropong 180°, maka pergeseran gelembung pada nivo tabung menjadi dua kali kesalahan e, seperti terlihat pada gambar 19 ②.
Pembetulan kesalahan ini kita lakukan demikian rupa, sehingga satu e pada sekrup penyetel, lihat gambar 19 ③, dan satu e pada sekrup ungkit seperti terlihat pada gambar 19 ④. Penelitian ini kita ulangi lagi sampai gelembung nivo tabung selalu berada pada tengah-tengah tempatnya.



Gambar 20

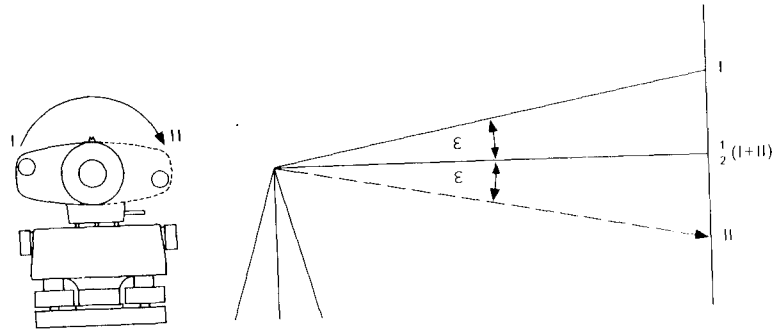
Percobaan menyipat
Untuk menguji garis bidik di lapangan yang datar kita pilih suatu jarak sepanjang 45 m sampai 60 m, *A-D* yang kita bagi tiga (3d) menurut gambar 20 di atas. Pada titik-titik antarnya *B* dan *C* didirikan sebuah rambu ukur. Pembacaan rambu ukur masing-masing dilakukan dari titik *A* dan titik *D*.
Dengan teropong yang di-horisontal-kan dari titik *A* kita membaca a'_1 pada rambu ukur *B* dan a'_2 pada rambu ukur *C*. Kemudian kita membaca dari titik *D* a'_3 pada rambu ukur *C* dan a'_4 pada rambu ukur B. Jikalau garis bidik horisontal betul, maka pembacaan rambu ukur harus:

$$a_4 - a_1 = a_3 - a_2$$

seperti dapat dilihat pada gambar 20 di atas. Jikalau garis bidik tidak horisontal tetapi miring dengan sudut δ. Kita mengambil suatu garis sejajar $a'_1 - a'_2$ pada titik a'_3 demikian rupa, sehingga kita mendapatkan titik potong a_4 pada rambu ukur *B* yang menjadi pembacaan sebenarnya pada rambu ukur *B* dari titik *D*. Pembacaan ini dapat kita tentukan menurut gambar 20 seperti berikut:

$$a_4 - a'_1 = a'_3 - a'_2$$
$$a_4 = a'_1 - a'_2 + a'_3 \quad \text{(harus diperhatikan tanda + , −)}$$

Jikalau selisih pembacaan a'_4 banyak lebih besar dari nilai a'_4, kita ulangi percobaan menyipat sekali lagi. Jikalau nilai a'_4 menjadi sama kita harus mengatur garis bidik dan mengulangi percobaan menyipat sekali lagi sebagai kontrol.
Mengatur garis bidik. Pada alat penyipat datar automatis NA 0, NA 1 dan NA 2, kita menggerakkan benang-silang sampai dapat kita baca nilai a_4 dengan memutar sekrup koreksi diafragma. Pada alat penyipat datar dengan sekrup ungkit (helling) kita tidak menggeser benang-silang, melainkan mengoreksi nivo sampai dapat terbaca nilai a_4. Pergeseran gelembung pada nivo tabung dapat kita tiadakan dengan sekrup ungkit.

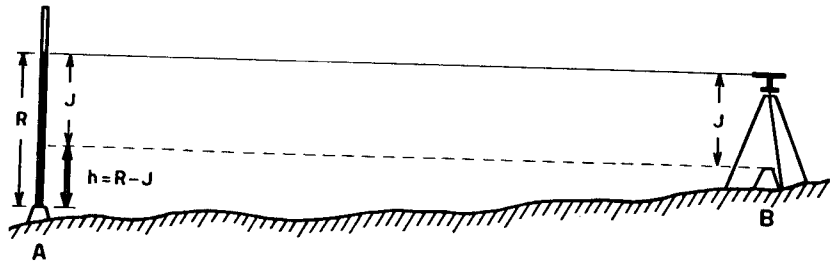


Gambar 21

Pemeriksaan dan pengaturan menjadi lebih sederhana pada alat penyipat datar dengan nivo balik (Wild N2). Teropong bersama nivo tanggung dapat diputar sekitar garis bidik dan dengan begitu memungkinkan pembacaan rambu ukur dua kali dari satu titik berdiri, sekali dengan nivo tabung sebelah kiri (I) dan sekali dengan nivo tabung sebelah kanan (II). Nilai rata-rata dari dua pembacaan ini menjadi garis bidik yang horisontal. Nilai ini dapat kita setel dengan sekrup ungkit, pergeseran gelembung pada nivo tabung dapat kita tiadakan dengan sekrup ungkit.

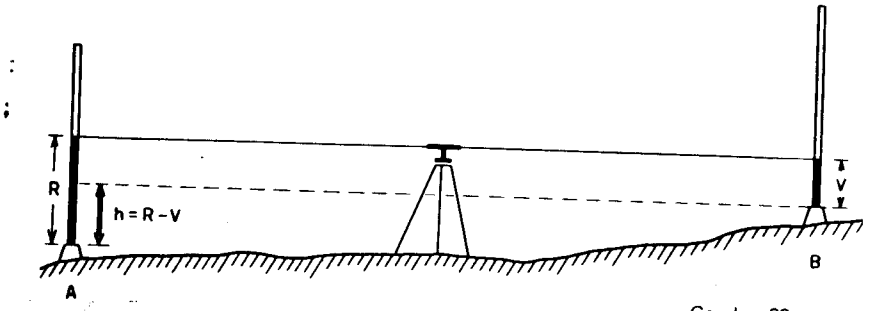
1.4. Teknik penyipatan datar

Penentuan selisih tinggi antara dua titik dapat dilakukan dengan tiga cara penempatan alat penyipat datar tergantung pada keadaan lapangan.



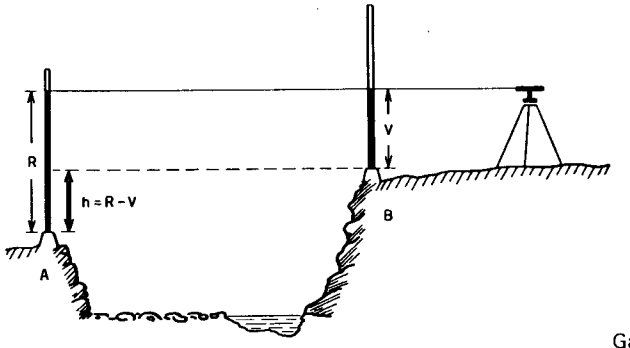
Gambar 22

Pada **cara pertama** kita menempatkan alat penyipat datar di atas salah satu titik, misalnya di atas titik *B* seperti terlihat pada gambar 22 dan mengukur tinggi garis bidik *J*, yaitu jarak dari titik B sampai titik tengah teropong. Pembacaan rambu ukur, yang didirikan pada titik *A* menjadi misalnya *R*. Maka berbedaan tingginya titik *A* dan titik *B* menjadi $h = R-J$.



Gambar 23

Pada **cara ke-dua** lihat gambar 23 kita menempatkan alat penyipat datar antara kedua titik sebaiknya demikian rupa, sehingga jarak dari alat penyipat datar ke kedua rambu ukur masing-masing hampir sama, tanpa memperhatikan apakah alat penyipat datar diletakkan pada garis lurus antara dua titik itu. Kemudian pada titik *A* kita membaca nilai *R* (pembacaan belakang) dan tanpa mengubah pendirian alat penyipat datar, kita baca nilai *V* (pembacaan muka) pada mistar yang didirikan pada titik B. Maka selisih tinggi-nya titik *A* dan titik *B* menjadi $h = R-V$.



Gambar 24

Pada **cara ke-tiga** menurut gambar 24 di atas, tidak mungkin kita menempatkan alat penyipat datar pada/di atas titik *A* atau *B*, maupun di antaranya. Kita harus menempatkan alat penyipat datar di sebelah kanan titik *B*. Pembacaan rambu ukur dilakukan pada titik *A (R)* dan pada titik *B (V)*, maka selisih tingginya titik *A* dan titik *B* menjadi juga $h = R-V$.

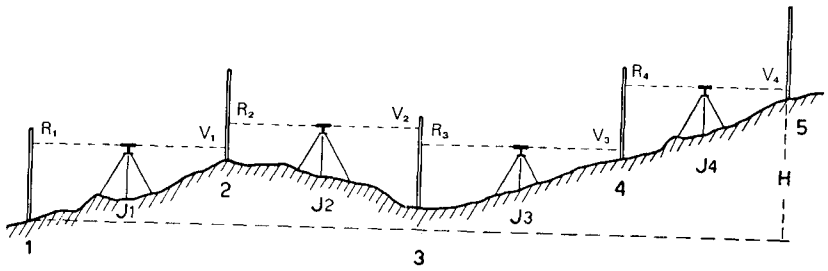
Dari tiga cara menyipat datar, cara dengan alat penyipat datar yang diletakkan antara dua titik (cara ke-dua) yang memberi hasil yang paling teliti, karena kesalahan yang mungkin masih ada pada pengaturan dapat saling memperkecil. Apa lagi jikalau jarak antara alat penyipat datar ke kedua titik dibuat sama, kesalahan pada garis bidik yang tidak horisontal (garis sumbu *Z-Z* tidak sejajar pada *L-L*, lihat gambar 18), pada pembacaan rambu ukur timbul sebelah-menyebelah dengan nilai yang sama. Dengan demikian perbedaan antara pembacaan mistar belakang dan rambu ukur muka *(R—V)* menjadi berbedaan tingginya dua titik yang sebenarnya.

Cara ini juga dapat dinamakan 'menyipat datar dari tengah-tengah' dan dapat dilakukan sebagai pengetahuan dasar pada **menyipat datar memanjang.** Bila kita ingin mengetahui tinggi titik-titik yang diletakkan di sekitar titik yang ditempati oleh alat penyipat datar kita **menyipat datar pada bidang.**

Atas dasar pengetahuan dasar mengenai teknik menyipat datar dan alat-alat penyipat datar akan dibicarakan cara menyipat datar memanjang dan menyipat datar pada bidang.

1.5. Menyipat datar memanjang

Jikalau jarak antara dua titik *1* dan *5* yang harus ditentukan selisih tinggnya, menjadi demikian besar, sehingga rambu ukur tidak dapat dilihat dengan terang dan pembacaan menjadi kurang teliti, atau jikalau keadaan lapangan menjadi sedemikian rupa, sehingga garis bidik tidak kena rambu ukur karena jatuh di atas atau di bawah rambu ukur maka terpaksa jarak antara titik *1* dan titik *5* itu dibagi atas jarak-jarak yang lebih kecil, sehingga pengukuran dapat dilakukan dengan mudah dan baik. Jarak bidik biasanya dipilih antara 50-60 m. Untuk menentukan beda tinggi antara dua titik *1* dan *5* yang jaraknya besar, maka cara menyipat datar menjadi:



Gambar 25

Satu rambu ukur kita dirikan pada titik *1* dan kita pilih tempat untuk alat penyipat datar J_1 demikian rupa, sehingga garis bidik masih kena rambu ukur pada titik *1*. Rambu ukur kedua didirikan di atas titik *2* yang dipilih demikian rupa, sehingga garis bidik kena rambu ukur pada titik *2* dan jarak antara alat penyipat datar dengan kedua rambu ukur masing-masing sama.

Sekarang kita lakukan pembacaan rambu ukur belakang dan pembacaan rambu ukur muka menurut gambar 23. Setelah pembacaan dilakukan dan ditulis pada buku ukur, maka alat penyipat datar dipindahkan ke titik J_2. Rambu ukur pada titik 2 kita putar hati-hati ke arah alat penyipat datar pada titik J_2. Kita baca rambu ukur belakang R_2, pindahkan rambu ukur kemudian ke titik 3, sehingga kita dapat membaca rambu ukur muka V_2 dsb. Pekerjaan ini kita ulangi sampai dengan pembacaan rambu ukur muka V_4 pada titik *5*.

Pembacaan-pembacaan R_1 s/d R_4 dan V_1 s/d V_4 kita catat sebagai tabel pada buku ukur seperti berikut:

Contoh 1
Tabel 1a

Titik	Pembacaan	Rambu ukur belakang *R*	Rambu ukur muka *V*
1	R_1	2.435	
2	V_2		0.397
2	R_2	1.152	
3	V_3		2.758
3	R_3	2.153	
4	V_4		0.251
4	R_4	2.246	
5	V_4		0.205
		+7.986	−3.611
		−3.611	
		+4.375m	

Jikalau kita hanya mencari selisih tinggi antara titik *1* dan titik *5*, maka dapatlah jumlah semua pembacaan rambu ukur muka dikurangi jumlah semua pembacaan rambu ukur belakang. Pada contoh 1 ini selisih tinggi antara titik *1* dan titik *5* menjadi +4.375 m, atau secara umum:

$h = (R_4 + R_2 + R_3 \ldots + R_n) - (V_1 + V_2 + V_3 \ldots + V_n)$

Penentuan R_1, R_2 dan V_1 dan V_2 dsb. pada contoh ini dan pada contoh berikut hanya kita pilih untuk memudahkan pengertian pada tabel-tabel.

Jikalau kita perlu juga menentukan tinggi titik-titik antara *2, 3* dan *4*, maka antara dua titik yang berturut-turut kita tentukan beda tingginya dengan rumus *R-V*. Walaupun pada tabel ia harus menulis tiap-tiap titik dua kali, satu pembacaan rambu ukur muka dan satu kali pembacaan rambu ukur belakang, kita dapat menghindarkannya dengan menulis pembacaan rambu ukur muka dan pembacaan rambu ukur belakang pada satu garis seperti terlihat pada tabel 1b berikut. Selalu kita hanya memperhatikan titik-titik tempat kita mendirikan rambu ukur dan bukan titik meletakkan alat penyipat datar.

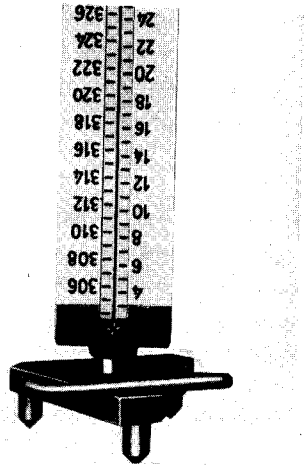
Perbedaan tinggi titik *1* dan titik *2* misalnya kita dapatkan dari hasil pengurangan $R_1 - V_2$. Nilai ini sebaiknya ditulis pada garis antara titik *1* dan titik *2*, dan biasanya juga kita gunakan satu baris untuk hasil pengurangan yang positif (+) dan satu baris untuk yang negatif (−) yang memudahkan pekerjaan/perhitungan selanjutnya.

Tabel 1b

Titik	Pembacaan belakang R		rambu ukur muka V		R−V	
					+	−
1	R_1	2.435				
					2.038	
2	R_2	1.152	V_2	0.397		
						1.606
3	R_3	2.153	V_3	2.758		
					1.902	
4	R_4	2.246	V_4	0.251		
					2.041	
5			V_5	0.205		
	[R]	7.986	[V]	3.611	+5.981	−1.606
	[R] − [V] = +4.375				[R − V] = +4.375	

Hasil pengurangan antara jumlah semua pembacaan rambu ukur belakang [*R*] dan jumlah semua pembacaan rambu ukur muka [*V*] menjadi beda tinggi titik *1* dan titik *5*. Hasil yang sama harus kita dapat sebagai jumlah baris [*R*−*V*]. Maka rumus [*R*]−[*V*]=[*R*−*V*] selalu kita lakukan sebagai pemeriksaan tabel tsb.

Cara menyipat datar ini sering dilakukan pada jarak yang jauh.
Pada peristiwa ini kita harus melakukan **kontrol** yang mantap. Kontrol ini tidak hanya menemukan **kekeliruan dalam pembacaan** melainkan juga membuktikan **ketelitian** pengukuran-pengukuran kita.



Gambar 26

Jikalau kita tidak mengetahui tinggi dua titik yang berjauhan jaraknya, maka kita menyipat datar bolak-balik. Hasil pengurangan jumlah *R* dan jumlah *V* sebetulnya harus menjadi nol. Tetapi pada prakteknya akan selalu terjadi perbedaan kecil. **Kesalahan akhir** ini terdiri dari kesalahan yang sistematis dan kesalahan yang kebetulan, kesalahan-kesalahan yang tidak dapat dihindarkan.

Kesalahan yang sistematis menjadi kesalahan yang merambat, misalnya oleh statif alat penyipat datar yang makin lama makin lebih masuk dalam tanah yang lemak atau oleh penurunan rambu ukur pada waktu memindahkan alat penyipat datar. Pengalaman menunjukkan, bahwa kesalahan yang sistematis dapat diperkecil dengan meletakkan statif alat penyipat datar sestabil dan kuat mungkin dan pada titik-titik sembarang, tempat mendirikan rambu ukur kita pilih titik-titik tertentu dari batu dsb. atau dengan bantuan **landasan rambu ukur** seperti dilihat pada gambar 26 di atas. Penting juga ialah kelancaran dalam melakukan penyipat datar. Jikalau kita membuang waktu dengan memeriksa dan membaca rambu ukur beberapa kali dengan harapan memperbaiki hasil pembacaan, maka kemungkinan timbul kesalahan yang sistematis justru makin lama makin besar. Untuk menghemat waktu kita juga boleh menggunakan dua rambu ukur untuk pembacaan rambu ukur belakang dan pembacaan rambu ukur muka.

Kesalahan acak (kebetulan) timbul baik dengan tanda (+) maupun (−). Biasanya kesalahan acak saling menghapuskan dan menjadi kecil sekali. Kesalahan acak timbul misalnya oleh nivo tabung yang tidak disetel cukup teliti dsb.

Nilai **kesalahan yang diperbolehkan** ditentukan oleh jenis dan guna tugas penyipatan datar dan ketelitian yang diharapkan. Akan tetapi ketelitian yang diharapkan menentukan juga tipe alat penyipat datar yang harus digunakan (lihat juga bab 1.2.2. Data-data tentang alat penyipat datar Wild). Kesalahan yang timbul biasanya kita bagi atas semua titik-titik yang diperhatikan pada penyipatan datar.

Jikalau kita memperhatikan kembali contoh yang tadi (lihat gambar 25) kita mendapatkan beda tinggi antara titik *1* dan titik *5* sebesar +4.375 m. Jikalau kita sekarang menyipat datar kembali dari titik *5* ke titik *1* maka kita mendapatkan beda tinggi yang berlainan, misalnya +4.363 m, maka kesalahan yang timbul menjadi 12 mm. Hasil rata-rata beda tinggi titik *1* dan titik *5* menjadi +4.369 m dan nilai ini kita tentukan sebagai beda tinggi yang sebenarnya.

Perhitungan penyipatan datar selalu dilakukan pada buku ukur dalam orsinal untuk menghindari kesalahan pada waktu menyalin. Karena itu buku ukur harus cukup besar supaya di kantor dapat kita tambah baris-baris perhitungan seperti terlihat pada tabel 2 berikut:

Contoh 2
Tabel 2a

diisi di lapangan

diisi di kantor

	titik	pembacaan		beda tinggi R—V		tinggi sementara	tinggi sebenarnya
		R	V	+	—		
Penyipat pergi	1	2.435				345.150	345.150
				2.038			
	2	1.152	0.397			347.188	347.186
					1.606		
	3	2.153	2.758			345.582	345.580
				1.902			
	4	2.246	0.251			347.484	347.480
				2.041			
	5		0.205			349.525	349.519
		7.986	3.611	5.981	1.606		
		[R]—[V] = +4.375		[R—V] = +4.375			
Penyipat pulang	5	0.358				349.513	
					2.037		
	4	0.416	2.395			347.476	
					1.897		
	3	2.556	2.313			345.579	
				1.605			
	2	0.555	0.951		2.034	347.184	
	1		2.589			345.150	
		3.885	8.248	1.605	5.968		
		[R]—[V] = —4.363		[R—V] = —4.363			

Pada contoh 2 ini tinggi titik-titik dihitung penyipatan pulang-pergi masing-masing dimulai pada tinggi tertentu 345.150 m pada titik *1*. Perhitungan pada penyipatan pulang dilakukan dari bawah ke atas. Pembagian perbedaan 12 mm antara penyipatan pergi dan penyipatan pulang dapat kita lakukan dengan menentukan hasil rata-rata pada pembacaan masing-masing agar berbedaan tinggi seluruhnya selalu menjadi 4.369 m seperti dilihat pada tabel 3 berikut.

Memang ada juga kemungkinan dengan menentukan hasil rata-rata perbedaan tinggi pada contoh 2 pada titik masing-masing berdasarkan pada tinggi titik *1* dengan 345.150 m. Pada cara ini kita tidak mempunyai suatu kontrol dalam perhitungan (lihat tabel 2b hal. 30).

Tabel 2b

titik	beda tinggi			tinggi
	pergi	pulang	rata2	
1				345.150
	+2.038	—2.034	+2.036	
2				347.186
	—1.606	+1.605	—1.606	
3				345.580
	+1.902	—1.897	+1.900	
4				347.480
	+2.041	—2.037	+2.039	
5				349.519

1.5.1. Menyipat datar memanjang keliling

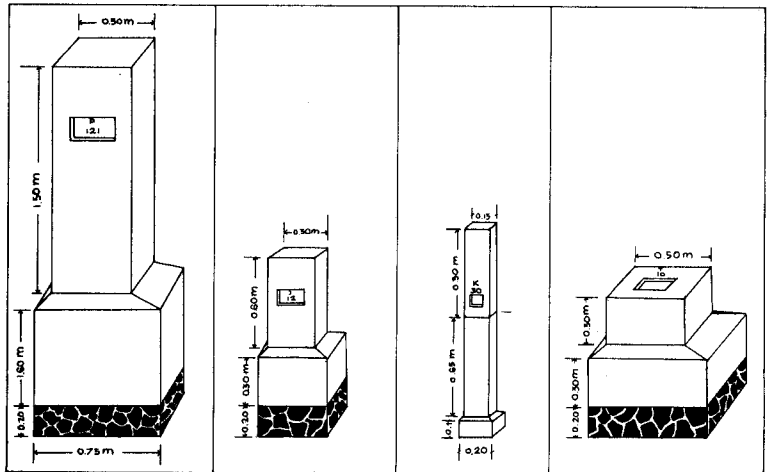
Biasanya untuk suatu penyipatan datar yang menentukan perbedaan tinggi dua titik dengan jarak yang jauh tidak kita pilih jalan yang sama untuk penyipatan pergi dan penyipatan pulang sehingga kita mendapat tinggi beberapa titik lagi dan penyipatan datar ini berbentuk segi banyak. Suatu segi banyak ini dapat kita letakkan misalnya sekeliling suatu lapangan, gedung dsb. yang akan kita sipat lagi dengan teliti pada pekerjaan lanjutan.

1.5.2. Menyipat datar memanjang dengan menghubungkan pada titik tertentu

Pada banyak negara sudah digunakan suatu jaringan titik-titik dengan tinggi tertentu. Jikalau mungkin selalu kita pilih salah satu titik itu sebagai titik permulaan dan/atau titik penutup penyipatan datar memanjang.

Di Indonesia kita kenal jaringan sipat datar teliti dari jawatan topografi AD seperti dilihat pada tabel 2c berikut. Tugu triangulasi dari jawatan topografi AD tersebut juga mempunyai nilai tinggi, tetapi nilai ini sangat kasar dan tidak boleh dipakai untuk hitungan sipat datar.

Tabel 2c



Tugu primer dan tugu sekunder	Tugu tersier di Jawa	Tugu kwarter	Tugu tersier di luar Jawa

Pada contoh 3 berikut pada penyipatan datar memanjang disisipkan titik-titik dan pembacaan rambu ukur ditulis pada jalur *Z*. Keterangan mengenai jalannya perhitungan dapat dilihat sesudah tabel 3a dan 3b berikut. Pada tabel 3a kita melihat dan dapat mengikuti pada seluruh perhitungan penyipatan datar ini. Pada tabel 3b kita melihat contoh yang sama tetapi lebih sederhana, seperti pada praktek kita catat hasil penyipatan datar pada buku ukur.

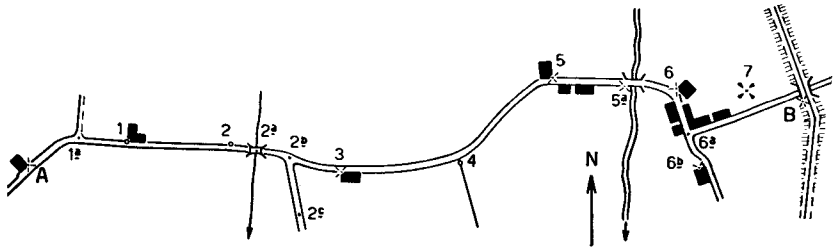
Contoh 3
Tabel 3a

	titik		pembacaan R	pembacaan Z	pembacaan V		beda tinggi +	beda tinggi −	tinggi
J1	A	R_A	0.753		← 7 1.756	$R_A - V_1$		1.004	454.721
	1	V_1							453.717
J2	1	R_1	0.232			$V_8 - Z_a$		2.321	453.717
	a	Z_a		2.553					451.396
	2	V_2			6 2.638	$Z_a - V_2$		0.083	451.313
J3	2	R_2	6 1.247						451.313
	a	Z_a		1.152		$-Z_a$	0.094		451.407
	b	Z_b		0.537		$Z_a - Z_b$	0.615		452.022
	c	Z_c		0.221		$Z_b - Z_c$	0.316		452.338
	3	V_3			1.158	$Z_c - V_3$		0.937	451.401
J4	3	R_3	1 2.755						451.401
	4	V_4			10 0.303	$R_3 - V_4$	2.441		453.842
J5	4	R_4	2 2.163						453.842
	5	V_5			4 1.013	$R_4 - V_5$	1.148		454.990
J6	5	R_5	1 0.532			$R_5 - Z_a$		1.223	454.990
	a	Z_a		1.754					453.767
	6	V_6			2.789	$Z_a - V_6$		1.035	452.732
J7	6	R_6	0 0.151			$R_6 - Z_a$		2.534	452.732
	a	Z_a		2.684					450.198
	b	Z_b		2.023		$Z_a - Z_b$	0.661		450.859
	7	V_7			5 2.867	$Z_b - V_7$		0.842	450.017
J8	7	R_7	0.233						450.017
	B	V_B			3 2.533	$R_7 - V_B$		2.300	447.717
			+8.063		−15.056		+5.275	−12.279	−7.004

		+ 8.063
		+ 5.275
		− 7.004
Harga penyipatan datar	=	− 6.993
Harga sebenarnya	=	− 7.004
Kesalahan yg. timbul	=	+ 11 mm

Tabel 3b

titik	pembacaan R	pembacaan Z	pembacaan V	beda tinggi +	beda tinggi −	tinggi	Catatan
A	0.753					454.721	
			7		1.004		
1	0.232		1.756			453.717	tugu kwarter di sudut rumah
					2.321		
1a		2.553				451.396	
	6		6		0.083		
2	1.247		2.635			451.313	batu di pinggir jalan
				0.094			
2a		1.152				451.407	
				0.615			
2b		0.537				452.022	
				0.316			
2c		0.221				452.338	
	1				0.937		
3	2.752		1.158			451.401	sudut rumah
	2		10	2.441			
4	2.168		0.305			453.842	tiang batasan
	1		4	1.148			
5	0.532		1.013			454.990	sudut rumah
					1.223		
5a		1.754				453.767	
	0				1.035		
6	0.151		2.789			452.732	sudut rumah
					2.534		
6a		2.684				450.198	
				0.661			
6b		2.023				450.859	
			5		0.842		
7	0.233		2.864			450.017	tanda pada batu gunung
			3		2.300		
B			2.532			447.717	
	+8.063		−15.056	+5.275	−12.279	−7.004	
			+ 8.063		+ 5.275		
Harga penyipatan datar			= − 6.993		− 7.004		
Harga sebenarnya			= − 7.004				
Kesalahan yg. timbul			= + 11 mm				

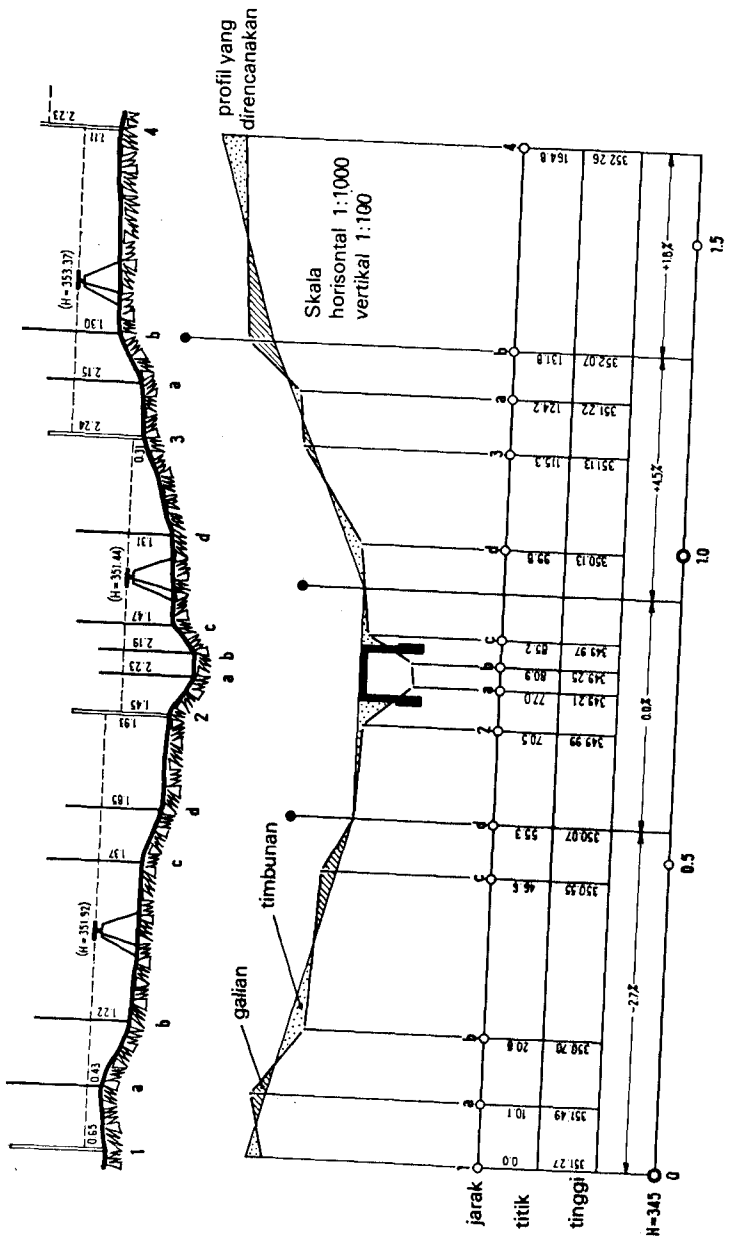


Gambar 27

Keterangan pada contoh 3: Berlawanan dengan contoh-contoh sebelumnya, kita pada contoh 3 ini mengoreksi pembacaan rambu ukur masing-masing menurut kesalahan yang timbul dengan mencoret angka-angka yang akan mengubah dan mencatat angka-angka yang baru di atasnya. perbedaan tinggi titik *A* dan titik *B* menjadi −7.004 m. Jumlah R menjadi 8.036 m dan jumlah *V* = 15.056 m dengan hasil pengurangan −6.993 m. Dari pembacaan rambu ukur kita mendapatkan suatu perbedaan tinggi titik *A* dengan titik *B* sebesar 11 mm. Karena pada perhitungan perbedaan tinggi titik *1, 2, 3* dsb. kita dapati oleh $R_1 - V_1$, $R_2 - V_2$ dsb. kita harus mengoreksi kesalahan yang timbul sebesar 11 mm itu sedemikian rupa, sehingga nilai pembacaan rambu ukur $_R$ menjadi lebih kecil dan pembacaan rambu ukur $_V$ menjadi lebih besar. Pada contoh ini kita melakui 16 pembacaan rambu ukur yang menentukan suatu korreksi sebesar 0.7 mm pada tiap-tiap pembacaan rambu ukur. Pada penyipatan datar biasa kita tidak menghitung dengan sepersepuluhan mm, maka kita membatasi diri dengan mengoreksi hanya 11 pembacaan rambu ukur dengan 1 mm masing-masing. Nilai pembacaan rambu ukur yang asli tidak boleh kita hapuskan. Hanya dicoret dan angka yang baru kita catat di atas angka yang dicoret.

Kita lihat pada contoh ini, kita meratakan kesalahan yang timbul tanpa memperhatikan pembacaan mistar pada titik-titik di antara *(Z)*. Memang benar, titik-titik ini tidak mempunyai pengaruh atas kesalahan yang timbul karena tidak dihubungkan dalam poligon, melainkan ditambahkan seperti ekor pada salah satu titik poligon saja. Kesalahan yang mungkin timbul pada penentuan tinggi titik-titik di antara *(Z)* tidak dapat diperiksa atau dikoreksi. Karena itu sebaiknya orang yang belum menguasai penyipatan datar, menyipat titik-titik di antara *(Z)* dua kali sebagai pemeriksaan.

Yang mudah dan yang mungkin dilakukan ialah penempatan perhitungan semua titik di antara *(Z)* demikian rupa, sehingga perhitungan menjadi tanpa kesalahan. Sesudah kesalahan yang timbul kita ratakan atas pembacaan rambu ukur *R* dan *V*, dapat kita tentukan perbedaan tinggi antara dua titik masing-masing. Hasil pengurangan antara perbedaan tinggi yang positif dan yang negatif sekarang harus menjadi sama dengan perbedaan tinggi titik *A* dan titik *B*. Kemudia tinggi titik masing-masing dapat ditentukan dengan menjumlahkan atau mengurangi perbedaan tinggi titik-titik itu. Pada titik terakhir *B* kita harus mendapatkan nilai yang sudah kita ketahui. Semua titik yang kita pakai pada penyipatan datar, kita tentukan pada situasi, lihat gambar 27 di atas, dan keterangan mengenai titik-titik itu kita isi sebagai catatan pada buku ukur seperti terlihat pada tabel 3b.



Gambar 28

1.5.3. Profil memanjang dan profil melintang

Profil memanjang diperlukan untuk membuat trase jalan kereta api, jalan raya, saluran air, pipa air minum, riool dsb. Dengan jarak dan perbedaan tinggi titik-titik di atas permukaan bumi, didapatlah irisan tegak lapangan yang dinamakan profil memanjang pada sumbu proyek. Bersama dengan profil melintang dan peta situasi kita dapatkan dasar-dasar pada perencanaan proyek tersebut di atas.

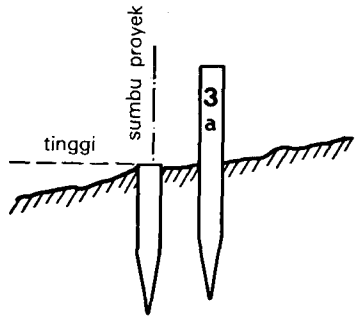
Penyipatan datar pada profil memanjang dapat dilakukan menurut contoh 3 tadi. Karena biasanya timbul juga banyak titik di antaranya *(Z)* kita harus menggunakan satu perhitungan yang lebih sederhana (lihat tabel 4).

Pada gambar 28 titik permulaan 1 dengan tinggi 351.27 m kita tambah pembacaan mistar belakang (R = 0.65 m) dan mendapatkan **tinggi garis bidik** *(H)*. Tinggi garis bidik ini berarti, semua garis bidik dengan arah sembarang berada pada tinggi 351.92 m selama titik tempat alat penyipat datar tidak diubah. Jikalau kita pada titik masing-masing mengurangi nilai pembacaan rambu ukur dari tinggi garis bidik kita dapatkan langsung tinggi titik masing-masing yang sebenarnya. Cara ini akan kita lakukan pada tempat letak alat penyipat datar masing-masing. Hanya tinggi titik-titik di antara *(Z)* baru kita tentukan sesudah kesalahan yang timbul dibagi menurut contoh 3 tadi. Dengan cara perpendekan titik-titik di antara *(Z)* tidak dapat diperiksa pada pembacaan maupun perhitungan. Sebaiknya kita menyipat datar profil ini dua kali.

Contoh 4

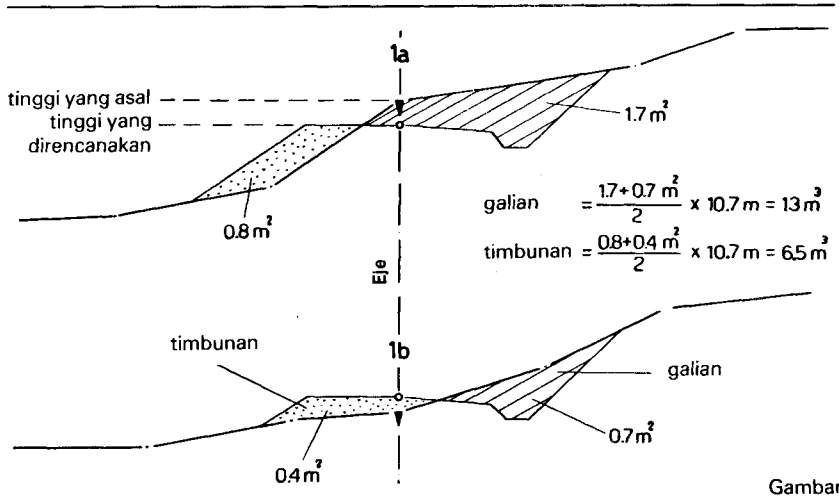
Tabel 4

titik	pembacaan			tinggi	tinggi garis bidik	catatan
	R	Z	V			
1	0.65			351.27	351.92	titik permulaan
a		0.43		351.49		
b		1.22		350.70		
c		1.37		350.55		
d		1.85		350.07		
2			1.93	349.99		
2	1.45			349.99	351.44	sisi lerengan
a		2.23		349.21		tepi kali
b		2.19		349.25		tepi kali
c		1.47		349.97		sisi lerengan
d		1.31		350.13		
3			0.31	351.13		
3	2.24			351.13	353.37	
a		2.15		351.22		
b		1.30		352.07		
4			1.11	352.26		
4	2.23			352.26	354.49	
a		....		.....		



Gambar 29

Titik-titik profil pada garis sumbu proyek atau pada garis segi banyak proyek dinyatakan di lapangan dengan pancang-pancang dari kayu yang bidang atasnya sama dengan bidang tanah dan pancang kedua ditanam di dekatnya dan diberi nomor, dengan pancang mana dapat diketemukan kembali pancang-pancang profil seperti dilihat pada gambar 29 di atas.



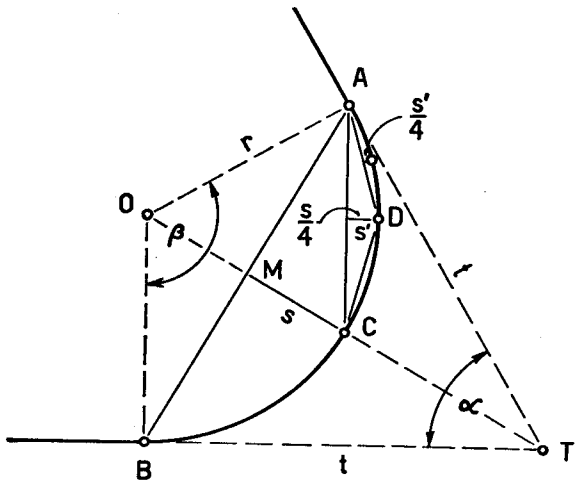
Gambar 30

Di atas telah dikatakan, bahwa banyaknya tanah yang digali sedapat mungkin dibuat sama dengan banyaknya tanah yang diperlukan untuk menimbuni. Untuk menghitung banyaknya tanah, baik untuk digali maupun untuk menimbuni, profil memanjang belum cukup. Maka diperlukan lagi profil melintang yang harus dibuat tegaklurus pada garis sumbu proyek dan pada tempat-tempat yang penting. Pada profil melintang masing-masing kita menggambar misalnya jalan yang direncanakan seperti dilihat pada gambar 30 di atas.

Pada contoh 4 tadi misalnya kita dapat mengambil perbedaan tinggi antara tinggi yang asal dan tinggi garis sumbu jalan yang direncanakan pada profil memanjang. Misalnya perbedaan tinggi ini menjadi pada titik *1a* −0.30 m dan pada titik *1b* +0.20 m dan atas dasar titik-titik tertentu ini dapat kita menggambar jalan yang direncanakan (lihat gambar 30).

Untuk menghitung banyaknya tanah, baik untuk digali maupun untuk menimbuni, kita menentukan luasnya pada dua titik profil melintang yang berturut-turut, mengambil nilai rata-rata yang akan dikalikan dengan panjangnya (jarak dua titik tsb.).

1.5.4. Ketentuan kelengkungan dengan alat penyipat datar



Gambar 31

Bagi penentuan garis sumbu untuk profil memanjang pada proyek trase tsb. sering dibutuhkan penentuan kelengkungan. Untuk penentuan kelengkungan sebenarnya ada beberapa kemungkinan. Karena pada praktek biasa suatu sistim perkiraan sudah memenuhi kebutuhan, maka dalam rangka buku ini hanya kita perhatikan 'sistim seperempatan'.
Menurut gambar 31 di atas titik T menjadi titik potong garis singgung $A-T$ dan $B-T$ yang harus dihubungkan dengan suatu lengkungan lingkaran dengan jari-jari r tertentu. Dengan bantuan alat penyipat datar kita mengukur pertama sudut α. Kemudian jarak t antara titik-titik $A-T$ dan $B-T$ dapat kita hitung dengan rumus berikut:

$$t = r.\cot\frac{\alpha}{2} \quad \text{dan} \quad \varepsilon = r - \frac{r^2}{\sqrt{r^2 + t^2}}$$

Jikalau sisi $A-B$ (garis hubung) kita bagi dua kita dapatkan titik M dan dari titik itu kita ukur tegak lurus tinggi busur s dan mendapat titik C. Kemudian kita bagi dua sisi $A-C$ dan dari titik itu kita ukur tegak lurus tinggi busur $s' = s/4$ dan dapatkan titik D. Kemudian dapat kita membagi dua lagi sisi $A-D$ dan dari titik itu kita ukur tegak lurus tinggi busur $s'' = s'/4$ dsb.

Contoh: Jikalau $r = 25.00$ m dan $\alpha = 59°40'$ dapat kita tentukan:

$$\frac{\alpha}{2} \quad 29°50', \quad \cot\frac{\alpha}{2} = 1.744$$

dan $t \quad 25 \cdot 1.744 = 43.6$ m

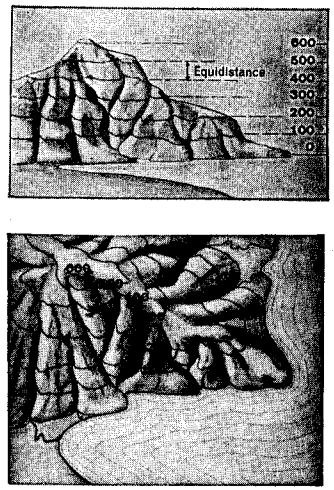
dan kemudian $s = 25 - \frac{625}{\sqrt{625 + 1900}} = 12.56$ m

$$s' = \frac{12.56}{4} = 3.14 \text{ m}$$

$$s'' = \frac{3.14}{4} = 0.79 \text{ m}$$

Kita lihat, bahwa penentuan kelengkungan, dengan suatu alat penyipat datar dengan lingkaran horisontal berskala menguntungkan sekali.

1.6. Menyipat datar pada bidang



Gambar 32

Jikalau kita ingin mengetahui keadaan tinggi rendahnya suatu daerah dapat kita menyipat sebanyak mungkin titik-antara sekeliling alat penyipat datar.
Sebagai keterangan dapat dilihat gambar 33 berikut. Pada nivo tabung yang horisontal garis bidik pada waktu teropong diputar pada sumbu pertama membentuk suatu bidang yang horisontal pada tinggi garis bidik. Tinggi garis bidik kita dapatkan dengan menjumlahkan tinggi titik P dengan tinggi alat penyipat datar J. Jikalau kita kemudian mengurangi hasil ini dengan misalnya pembacaan rambu ukur V_2, maka hasil pengurangannya menjadi tinggi titik *2* dsb.

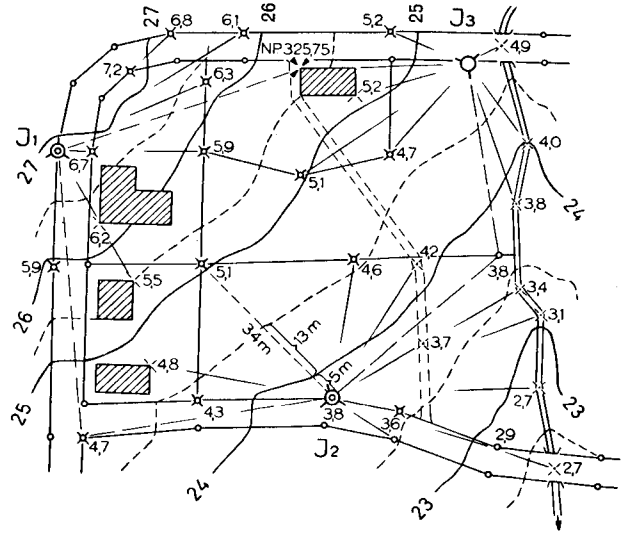
Titik-titik dengan tinggi di atas bidang tinggi garis bidik tidak dapat diukur.
Garis potong bidang tinggi garis bidik atau suatu bidang horisontal lain dengan lapangan yang miring kita namakan **garis-garis kontur.**
Garis kontur berarti garis yang menggabungkan titik-titik yang tingginya sama. Garis-garis kontur menjadi penting pada topografi karena memungkinkan menggambar peta yang memperlihatkan bentuk dsb. pada suatu lapangan. Biasanya garis-garis kontur digambar/ditentukan pada suatu jarak antaranya yang tertentu. **Jarak** sejajar anting antara dua **garis kontur** dinamakan **Equidistance** (bahasa Inggeris) seperti juga dapat dilihat pada gambar 32 di atas.

Suatu peta dengan garis-garis kontur memungkinkan penentuan tinggi tiap-tiap titik sembarang. Pemilihan jarak garis-garis kontur tergantung dari skala peta dan kemiringan lapangan, biasanya antara 0.50 m s/d 5.00 m.

Pada gambar 33 dapat kita lihat, bahwa titik terendah pada lapangan yang masih dapat diukur menjadi tertentu oleh panjangnya rambu ukur agar masih dapat dibaca pada teropong alat penyipat datar.

Kita juga melihat, bahwa yang penting bukan hanya tingginya suatu titik, melainkan juga letakan titik itu. Untuk penentuan letak suatu titik maka dapat kita lakukan tiga cara berikut.

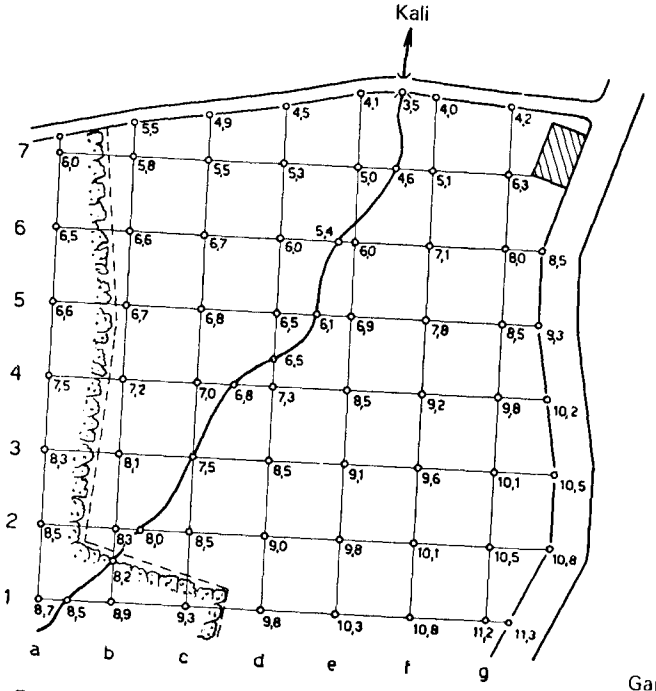
1.6.1. Pengukuran situasi



Gambar 34

Pada daerah yang digambar pada gambar 34 di atas harus digambar garis-garis kontur, supaya dapat dibayangkan tentang tinggi rendahnya daerah itu. Maka dilakukan penentuan tiga titik J_1, J_2, dan J_3. Dari penentuan itu kita dapat meletakkan alat penyipat datar dan yang dapat dihubungkan menurut bab 1.5.1. Menyipat datar memanjang pada poligon. Pembacaan rambu ukur dan catatan-catatan pada buku ukur dapat kita lakukan menurut contoh 4 pada bab 1.5.3. Profil memanjang dan profil melintang.
Atas dasar penentuan tingginya titik-titik tertentu pada contoh ini dapat kita menggambar garis-garis kontur dengan melakukan interpolasi antara dua titik tertentu masing-masing. Misalnya jarak antara titik J_2 dan titik batasan dengan tingginya 5,1 menjadi 34.00 m, perbedaan tinggi 1.30 m maka jarak antara titik J_2 dan garis konturnya 24.5 menjadi 34.00/1.30 × 0.70 = 18.00 m dsb.

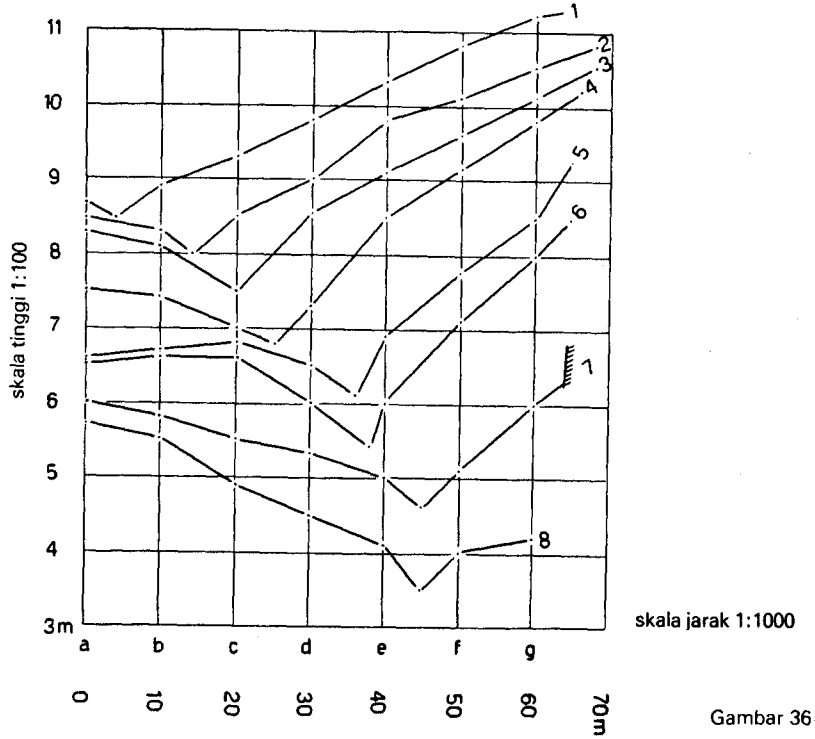
1.6.2. Sistim kisi (grid)



Gambar 35

Di daerah tanpa peta dan tanpa atau sedikit bangunan saja kita dapat menggunakan sistim kisi (grid). Menurut tinggi rendahnya dan penggunaan peta dengan garis-garis kontur yang kita rencanakan kita tentukan suatu jaringan siku-siku, yang biasanya dinyatakan di lapangan dengan pancang-

pancang dari kayu. Pada penentuan garis-garis kisi (grid) sebaiknya kita menggunakan suatu double pentafon prisma (prisma sudut) seperti terlihat pada gambar 35 di atas. Tentu saja sistim ini memudahkan juga penentuan kali, jalan dsb.

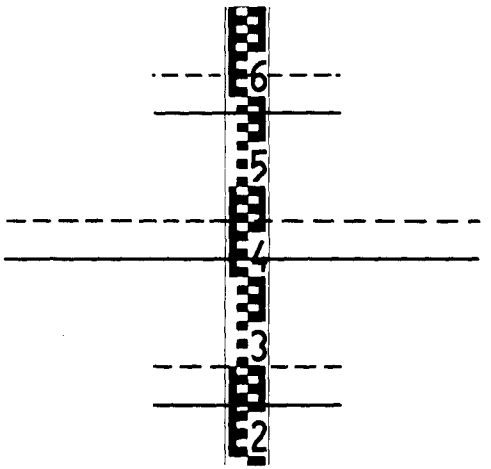


Gambar 36

Oleh penyipatan datar pada bidang dengan sistim kisi (grid) dapat juga kita menggambar profil masing-masing dari lapangan yang diperhatikan seperti terlihat pada gambar 36 di atas.

1.6.3. Tachimetri pada penyipatan datar

Alat penyipat datar dengan lingkaran berskala dan dengan dua benang stadia pada benang-silang yang memungkinkan pengukuran jarak dapat kita gunakan untuk menentukan titik-titik sembarang pada lapangan tanpa situasi atau kisi karena titik-titik menjadi tertentu dengan jarak dan jurusan. Pembacaan suatu sudut sudah diterangkan pada gambar 15 dan menjadi begitu mudah, sehingga tidak perlu keterangan lagi. Akan tetapi perlu diperdalam penentuan jarak dengan rambu ukur, sehingga penentuan jarak menjadi cukup teliti.



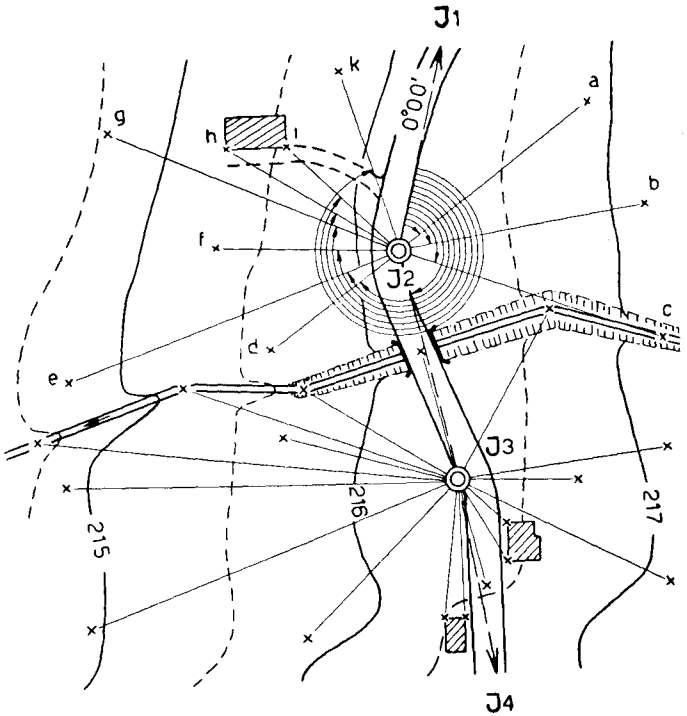
Gambar 37

Pada gambar 10 kita lihat suatu benang-silang, dengan perlengkapan dua benang stadia demikian rupa, sehingga ukuran pada rambu ukur yang dilihat antara benang stadia atas dan benang stadia bawah dikalikan dengan 100 menjadi jarak antara alat penyipat datar dan rambu ukur. Sebaiknya kita lakukan pembacaan rambu ukur untuk penentuan tinggi, sudut dan penentuan jarak demikian rupa, sehingga pembacaan dapat dilakukan seperti berikut (lihat juga gambar 37 di atas):

1. Benang-silang yang vertikal dipasang pada pertengahan rambu ukur — Baca sudut pada lingkaran horisontal berskala.
2. Menyetel nivo tabung horisontal tepat — Baca tingginya *M* titik tsb.
3. Menurun atau menaikkan teropong demikian rupa, sehingga benang stadia _____ bawah jatuh pada suatu garis desimeter pada rambu ukur — Baca jarak *D* pada benang stadia atas.

Contoh (lihat gambar 37 di atas): Sudut horisontal menjadi 315°17′ (seperti terlihat pada gambar 15). Tingginya *H* dapat kita baca pada benang-silang yang horisontal = 0.419 m dan jarak (kita menyetel teropong, sehingga benang stadia _____ bawah jatuh pada garis 30 cm pada rambu ukur) menjadi 32.30 m karena pembacaan rambu ukur menjadi 62.3 cm — 30 cm = 32.2 cm × 100 = 32.3 m.
Tentu saja boleh kita membaca rambu ukur pada benang stadia tanpa menyetel/mengubah ke-horisontal-an pada teropong dengan perhitungan 58.0 cm — 25.7 cm = 32,3 cm × 100 = 32.30 m.

Penyetelan ke-tajaman benang-silang pada pengukuran jarak menjadi penting sekali agar pembacaan tidak terjadi paralaks karena kita membaca pada dua titik pada rambu ukur.
Lingkaran horisontal berskala pada alat penyipat datar memungkinkan titik masing-masing dihubungkan antaranya, agar kita dapatkan suatu segi banyak yang dapat ditentukan secara analitis atau secara grafis. Begitulah menyipat datar pada bidang tidak terbatas lagi seperti pada sistim kisi (grid) melainkan kita dapat menghindari gangguan yang timbul atau menambah titik-titik yang kita rasa penting.



Gambar 38

Pada gambar 38 di atas kita lihat sebagian penyipatan datar pada bidang dengan titiknya yang sebagian menjadi suatu segi banyak. Pada contoh 5 ini, pada titik J_2 kita catat pembacaan rambu ukur pada buku ukur seperti berikut:

Tabel 5

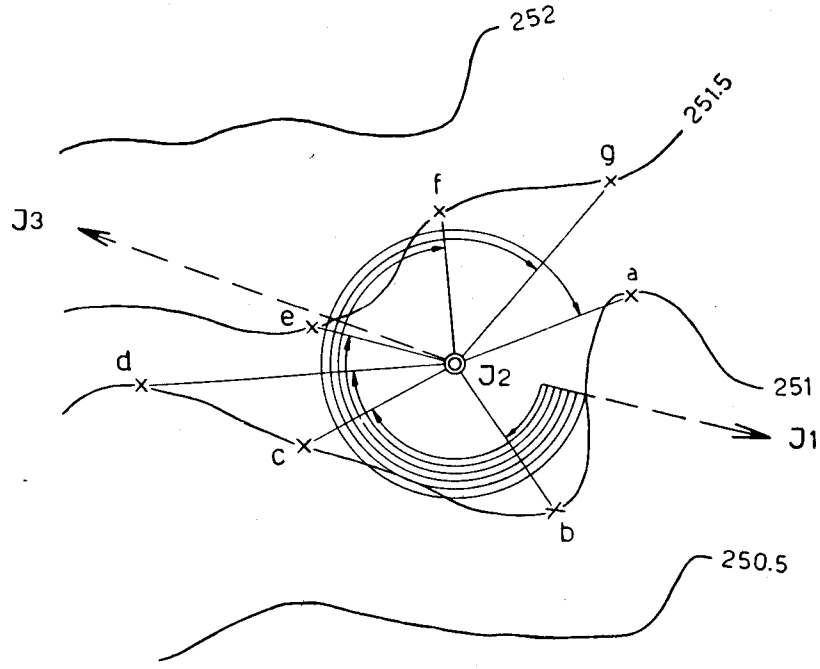
titik	pembacaan			tinggi		sudut	jarak	catatan
	R	Z	V					
						° ′		
J_1	0.82			216.70		0 00	75.3	
J_2		(1.33)		216.19	217.52			titik pembacaan
J_3			1.19	216.33		**152 40**	60.4	
a		0.72		6.80		39 11	60.6	
b		0.40		7.12		66 20	63.9	
c		0.52		7.00		95 51	71.2	dasar kali
d		1.89		5.63		220 52	42.0	
e		2.72		4.80		235 33	71.3	
f		2.18		5.34		254 10	47.4	
g		2.97		4.55		279 06	60.0	
h		2.27		5.25		287 12	51.5	sudut rumah
i		2.01		5.51		300 13	39.3	sudut rumah
k		1.77		5.75		329 20	48.1	
J_2	1.56			216.19		0 00	60.3	
J_3		(1.42)		216.33	217.75		60.3	titik pembacaan
J_4			0.61	217.14		**184 25**	75.8	
a..	....							

Contoh 5: Tingginya titik J_2 sudah kita dapatkan dari penyipatan datar pada titik J_1. Tingginya garis bidik pada J_2 kita catat pada baris Z antara dua kurung, dan hasilnya kita perlukan untuk memeriksa penyipatan datar ini. Pada tabel 5 kita juga lihat, bahwa sebaiknya kita membaca dahulu rambu ukur pada titik J_1 dan J_3 sebelum mengukur titik-titik lainnya. Penyelesaian penyipatan datar sebaiknya kita lakukan seperti berikut:

1. Mengarahkan teropong ke titik J_1 dan menentukan jaraknya.
2. Meng-horisontal-kan nivo tabung dan membaca tingginya pada rambu ukur.
3. Menyetel lingkaran horisontal berskala pada 0°00′
4. Mengarahkan teropong ke titik J_3 dan membaca sudut pada lingkaran horisontal berskala.
5. Menentukan jarak J_3
6. Meng-horisontal-kan nivo tabung dan membaca tingginya pada rambu ukur.
7. Menentukan dan menyipat datar titik-titik lainnya.

1.6.4. Penentuan garis kontur di lapangan

Pada salah satu lapangan dengan kemiringan/kelandaian yang kurang dari sekitar 5% sebaiknya kita mencari titik-titik sembarang pada garis-garis kontur dari pada titik-titik tertentu yang akan di-interpolir.

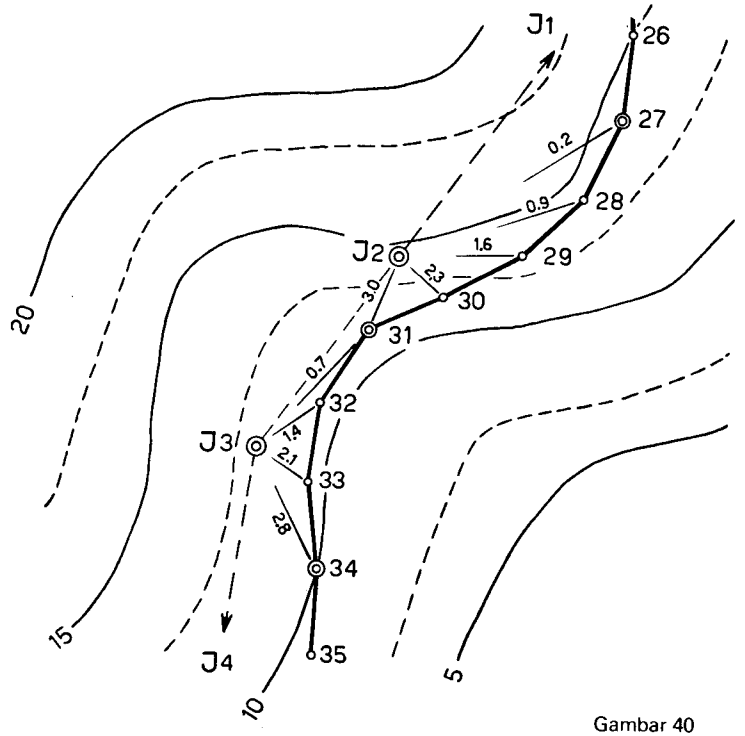


Gambar 39

Contoh (lihat gambar 39 di atas): Tingginya titik J_2 menjadi 251.30 m, tinggi garis bidik 1.37 m, maka bidang garis bidik 252.67 m. Pada garis-garis kontur 251.00 kita selalu harus membaca 1.67 m. Atas dasar ketentuan ini tinggallah kita mencari dengan rambu ukur titik masing-masing dan mengukur jarak dan sudutnya. Kemudian semua titik pada garis kontur 251.50 harus mempunyai pembacaan 1.17 m dsb.

1.6.5. Penentuan kemiringan/kelandaian

Proyak jalan, anjir/kali dsb. sering harus ditentukan pada lapangan dengan kemiringan yang tertentu.



Gambar 40

Contoh (lihat gambar 40 di atas): Pada suatu proyek jalan, garis sumbu jalan harus ditentukan dengan kemiringan 7% dan dengan jarak antara titik masing-masing 10.0 m.

Perbedaan tinggi antara dua titik atas dasar penentuan ini menjadi 0.70 m. Dari titik J_1, sudah ditentukan titik *27*. Kita sekarang meletakkan alat penyipat datar pada titik J_2 dan membaca rambu ukur pada titik *27* misalnya 0.20 m. Dengan jarak 10.00 m dari titik *27* itu kita sekarang mencari titik berikut yang 0.70 m lebih rendah, sampai dengan titik *31* dari titik mana kita meletakkan alat penyipat datar ke titik J_3, maka titik *27, 31* dan *34* dapat diukur masing-masing dua kali.

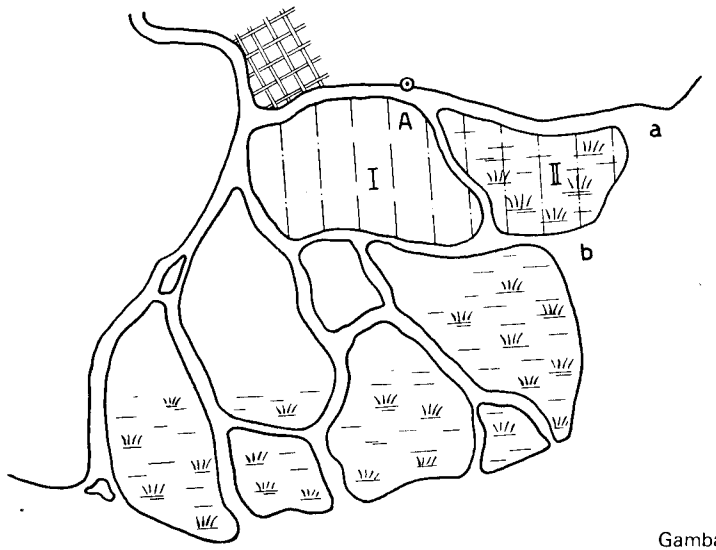
Dengan pembicaraan tentang teknik penyipatan datar, baik pada menyipat datar memanjang maupun menyipat datar pada bidang, dapat kita fahami dasar-dasar pada penyipatan datar atau penentuan perbedaan tinggi antara titik-titik tertentu.

Akhirnya kita akan memperhatikan suatu kemungkinan penyipatan datar yang di Indonesia juga berulang kali digunakan, yaitu:

1.6.6. Menyipat datar dengan bantuan permukaan air

Pada muara sungai yang bercabang-cabang pada daerah rawa-rawa dengan banyak air atau pada pantai laut atau danau dapat kita menyipat datar dengan bantuan permukaan air.

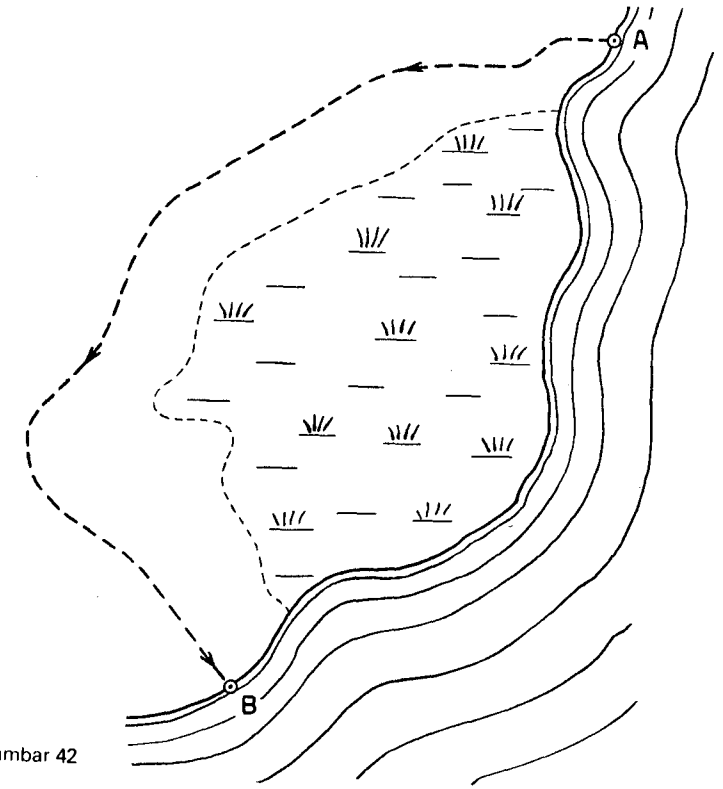
Kita akan memperhatikan contoh-contoh berikut:



Gambar 41

Pada suatu muara sungai yang bercabang-cabang (lihat gambar 41 di atas) adalah suatu proyek yang merencanakan misalnya suatu pelabuhan. Karena lapangan ini menjadi hampir datar dan biasanya pada suatu muara sungai yang bercabang-cabang timbul tumbuhan-tumbuhan yang padat sekali, sebaiknya kita menentukan profil-profil yang sejajar dengan jarak antara 100 s/d 500 m (lihat I dan II). Suatu pedoman atau segi banyak diukur dengan rambu-ukur dasar Invar menentukan jarak dan araknya profil. Karena pada suatu muara sungai yang bercabang-cabang arus menjadi kecil sekali, maka boleh ditentukan 'horisontal'. Permukaan air ini biasanya hanya berubah oleh pasang-surut atau oleh air hujan yang hebat. Akan tetapi jikalau kita memperhatikan perubahan ini pada suatu pengukur air misalnya di titik *A* yang menentukan tingginya permukaan air misalnya tiap-tiap jam, dapat kita tentukan tingginya permukaan air sebagai dasar pada seluruh penyipatan datar ini. Kita mulai misalnya penyipatan datar ini pada cabang sungai a (lihat gambar 41) dan mencatat tidak hanya tingginya melainkan juga waktunya. Pada akhirnya profil ini tembus pada cabang sungai *b* yang juga

kita catat tingginya dan waktunya. Bersama catatan pada pengukur air *A* dapat kita tentukan tingginya yang sebenarnya.



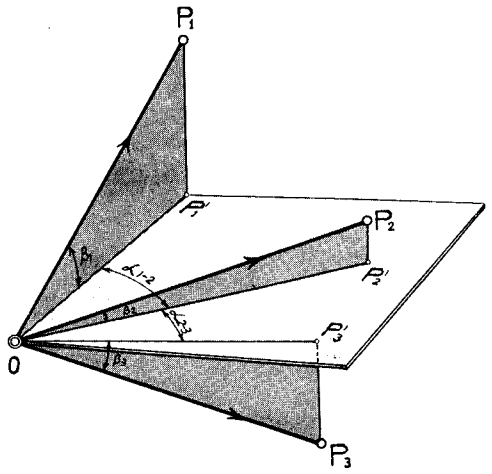
Gambar 42

Kemungkinan kedua pada penyipatan datar yang menghubungkan dua titik pada pantai laut atau danau. Jikalau kita mengetahui tinggi pengukur air *A* (lihat gambar 42) kita dapat mendasarkan penyipatan datar atas permukaan air. Jikalau kita menentukan tinggi permukaan air pada titik *B* pada waktu tertentu, dengan begitu kita mendapat suatu kontrol dalam penyipatan datar karena titik permulaan dan titik akhirnya sudah kita ketahui tingginya. Kemungkinan juga kita dapat menentukan tingginya pada titik-titik tambahan antara penyipatan datar memanjang dan titik-titik sembarang pada pantai.

Penentuan tingginya permukaan air harus dilakukan pada waktu tanpa angin dan ombak besar. Pada pantai dengan pasir dapat kita menggali lobang dengan permukaan air yang tenang walaupun laut atau danau berombak. Permukaan air harus kita ukur cukup lama, sehingga perubahan tinggi-nya antara dua titik dapat diseimbangkan. Dengan melakukan cara ini pada penyipatan datar dekat pantai atau pada muara sungai yang bercabang-cabang kita akan menghemat waktu dan dapat menambah ketelitian terutama pada penyipatan datar memanjang yang panjang.

2. Pengukuran dengan alat ukur sudut

2.1. Pengetahuan dasar



Gambar 43

Dengan alat ukur sudut (teodolit) kita dapat mengukur sudut-arah ke dua titik atau lebih dan sudut curaman terhadap bidang yang horisontal pada titik pembacaan. Akan terdapat pada tiap-tiap titik suatu sudut horisontal dan suatu sudut vertikal.

Pada gambar 43 titik O menjadi titik pembacaan. Dari titik itu kita membidik titik P_1, P_2 dan P_3. Garis sumbu kedua dengan teropong teodolit berada pada bidang yang horisontal yang melalui titik O. Kemudian dapat kita mengukur sudut-arahnya antara titik P_1 dan titik P_2 sebesar α_{1-2} dan antara titik P_2 dan titik P_3 sebesar α_{2-3}. Sebagai sudut vertikal kita tentukan kecuraman antara garis bidik dan bidang yang horisontal. Karena garis-garis bidik ke titik P_1 dan titik P_2 diletakkan sebelah atas bidang yang horisontal, maka sudut vertikal β_1 dan β_2 menjadi positif. Garis bidik ke titik P_3 berada di sebelah bawah bidang yang horisontal, maka sudut vertikal β_3 menjadi negatif. $O-P_1'$, $O-P_2'$ dan $O-P_3'$ menjadi proyeksi horisontal dari jarak $O-P_1$, $O-P_2$ dan $O-P_3$ yang sebenarnya. Jikalau kita mengetahui ukuran jarak

yang sebenarnya, maka dengan bantuan nilai sudut vertikal dapat kita tentukan ukuran horisontal $O-P_1'$ dan perbedaan tingginya P_1-P_1', yang menjadi sama dengan beda tinggi O dan P_1 dsb. Pada penggunaan sistim koordinat dan penggambaran, peta-peta kita hanya boleh memakai proyeksi horisontal ini saja.

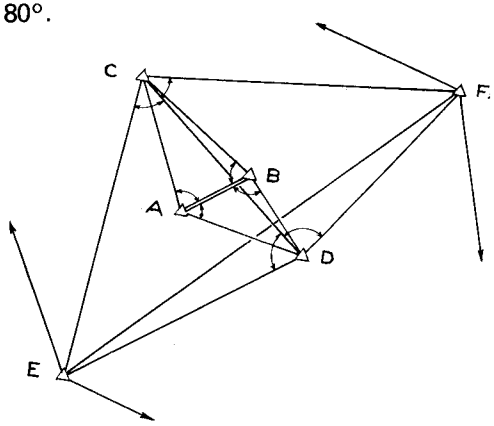
Ketelitian pembacaan sudut tergantung antara lain dari garis-tengah lingkaran horisontal berskala dan garis-tengah lingkaran vertikal berskala yang menjadi perlengkapan teodolit. Akan tetapi garis-tengah lingkaran berskala menentukan juga ukuran dan beratnya alat penyipat ruang karena perlengkapan lainnya seperti pelat statif, teropong dsb. juga harus sesuai dengan lingkaran berskala itu.

Tuntutan atas ketelitian pengukuran sudut berbeda sekali, jikalau kita perhatikan semua kemungkinan pada pengukuran sudut. Karena itu alat-alat ukur sudut berbeda juga. Supaya kita dapat menilai tuntutan itu dengan baik, dan sekaligus menambah pengertian pengukuran sudut, maka bab 2 ini menerangkan dasar-dasarnya.

Pada daerah yang luas (wilayah, pulau) kita memerlukan sebagai dasar suatu jaringan dengan titik-titik tertentu dengan membuat kerangka utama, misalnya dengan triangulasi yang akan memungkinkan suatu penentuan topografis yang teliti sekali. Dasarnya menjadi triangulasi dan dengan membuat kerangka cabang misalnya dengan poligon.

2.1.1. Jaringan segi-tiga (triangulasi)

Prinsip triangulasi menjadi sederhana sekali. Jikalau pada suatu segitiga diketahui panjangnya sebuah sisi dan dua sudut, dapat kita tentukan semua nilai-nilai lainnya. Jikalau dapat kita mengukur sebuah sisi dan tiga sudut maka kita mendapatkan suatu kontrol, karena jumlah tiga sudut selalu harus menjadi 180°.



Gambar 44

Jikalau kita menentukan suatu basis $A-B$ yang relatif pendek tetapi diukur dengan teliti sekali, dan kemudian menentukan sudut-sudut ke titik C dan titik D, maka dapat kita menghitung ukuran jarak $C-D$ dan tempat dua titik itu pada suatu sistim koordinat, seperti terlihat pada gambar 44 di atas. Dengan cara yang sama dapat kita menentukan titik E dan titik F dengan mengambil garis $C-D$ sebagai basis.

Sistim pembesaran basis ini kita lakukan terus-menerus sampai kita mendapat sisi-sisi segitiga yang seimbang dengan triangulasi primer. Kemudian daerah (wilayah, pulau) yang diperhatikan, dibentangi oleh suatu jaringan segitiga dengan panjang sisi masing-masing antara 30 km dan 100 km seperti terlihat pada gambar 45 berikut. Dengan meletakkan beberapa tugu/stasiun astronomi yang terbagi tepat di daerah yang diperhatikan, dapat kita menentukan peletakan jaringan segitiga ini secara astronomis maupun secara geografis.

Pada jaringan triangulasi di pulau Jawa terdapat tiga buah basis y.i.

basis di Simplak dekat Bogor untuk Jawa Barat,
basis Logantung dekat Demak untuk Jawa Tengah dan
basis Tangsil dekat Bondowoso untuk Jawa Timur.

Basis Simplak diukur dari 12 Juli hingga 1 Nopember 1873 di bawah pimpinan prof. Oudemans sendiri. Dalam 114 hari kerja diukur jarak 3915 m pulang pergi, sehingga rata-rata satu hari diukur jarak 70 m. Panjang basis ada 3887,710 m. Untuk membayangkan ketelitian ukuran basis ini dapat diterangkan bahwa kesalahan rata-rata ukuran basis ini ada 2,33 mm atau 1:1'700'000 dari panjang basis.

Basis Longantung letaknya di daerah yang datar dan diukur dari 16 Juli s/d 24 September 1874, di bawah pimpinan Ir. Woldringh. Ukuran ini dilakukan dengan menggunakan pengalaman di Simplak. Basis yang lurus ini panjangnya 4175 m dan diukur pulang pergi dalam 71 hari, dengan pukul rata 134 m tiap-tiap hari. Kesalahan rata-rata ukuran basis ini ada 0,464 mm atau 1:9'000'000 dari panjangnya basis.

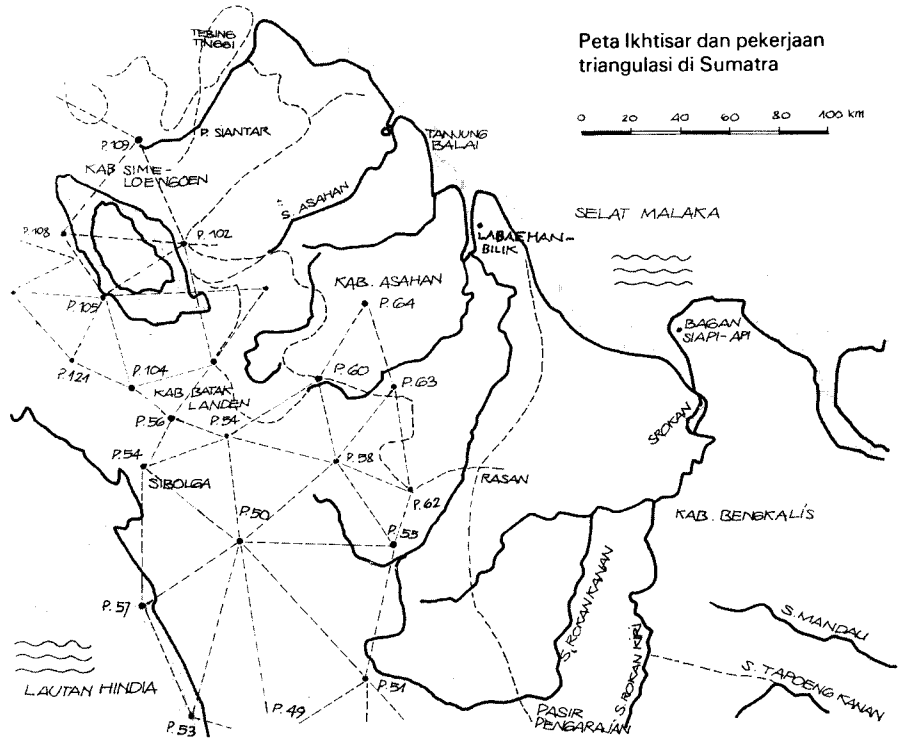
Basis Tangsil yang panjangnya 3040 m diukur di bawah pimpinan Ir. Scaters dari 20 Agustus s/d 27 Oktober 1877. Seluruh basis diukur pulang pergi dalam 61 hari kerja dengan pukul rata 166 m tiap-tiap hari. Kesalahan rata-rata ukuran basis ini ada 0,609 mm atau 1:5'000'000 dari panjang basis.

Untuk triangulasi Sumatra Barat dibuat basis dekat Padang. Basis ini hanya diukur dengan rantai pada tahun 1883, karena tidak ada alat ukur basis.

Triangulasi Sumatra Timur memakai basis di Sampun.

Kemudian dengan menggunakan segitiga yang lebih kecil kita mendapatkan titik/tugu sekunder dan selanjutnya tugu tertier dan tugu kwarter.

Akhirnya kita mempunyai 1 s/d 3 titik/tugu per km², jikalau penentuan tugu pada daerah yang diperhatikan sudah dipenuhi sampai dengan tugu kwarter.



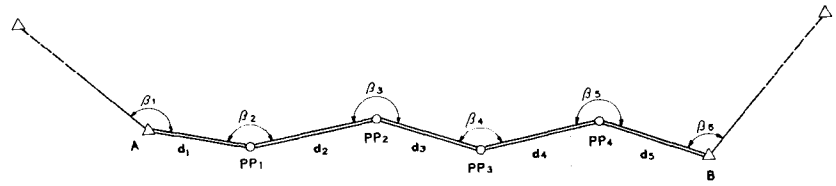
Gambar 45

Dengan menggunakan **Wild-Distomat DI 50** dapat kita mengukur jarak secara elektro-optis s/d 150 km jauhnya dengan ketelitian 10 cm dan bukan sudut-sudut. Cara ini dinamakan trilaterasi.

Pada prakteknya sering juga kita menggunakan dua metode ini bersama-sama.

Pada **pengukuran tinggi trigonometris** kita juga memperhatikan beda tinggi antara dua titik, karena pada triangulasi atau jaringan segitiga dalam bidang kita hanya menentukan jarak horisontal antara dua titik tertentu. Penggunaan pengukuran tinggi trigonometris akan kita perhatikan lebih dalam pada bab 2.8.2. buku ini.

2.1.2. Rangkaian segi banyak (poligon)



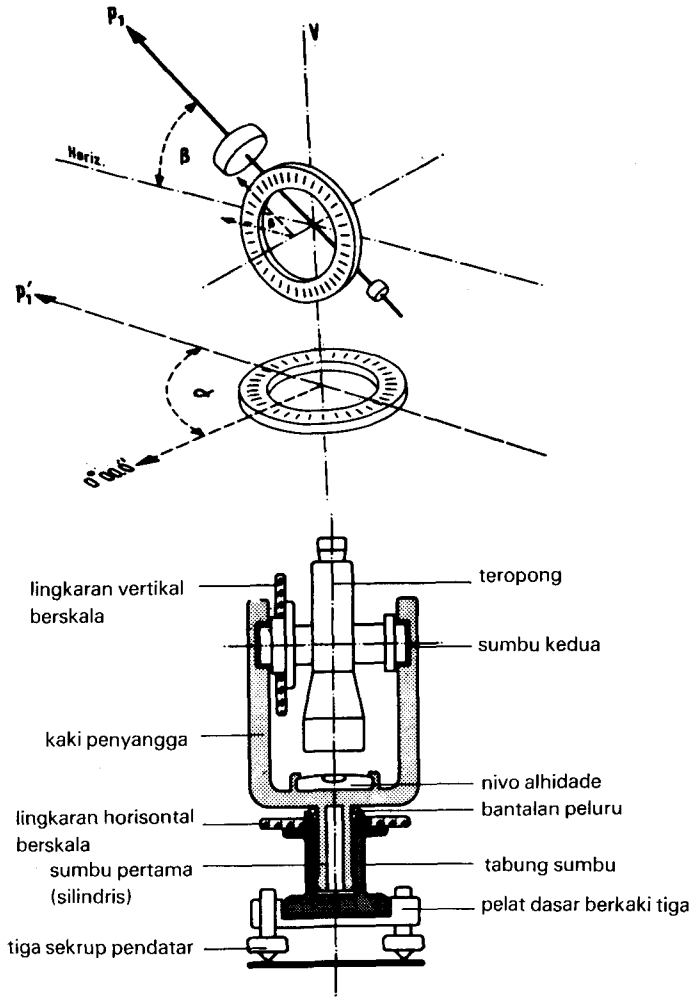
Gambar 46

Walaupun pada suatu lapangan sudah ada triangulasi sampai dengan tugu kwarter, tetapi kerapatan titik-titik tertentu belum memungkinkan penggambaran peta berdetail. Kita harus melakukan suatu penyipatan dalam ruang yang lebih rapat. Prinsip yang digunakan bukan lagi triangulasi, melainkan suatu rangkaian segi banyak. Kita menghubungkan dua titik/tugu triangulasi dengan suatu deretan titik dengan menentukan jarak dan sudut masing-masing seperti terlihat pada gambar 46 di atas. Karena titik pertama dan titik terakhir menjadi tugu triangulasi maka perhitungan rangkaian segi banyak dapat dikontrol.

Dengan alat-alat pengukur jarak yang modern penentuan jarak menjadi sama pentingnya dengan penentuan sudut. Sesudah kita sekarang menentukan dan mengontrol dasar-dasar penyipatan kita mulai dengan penentuan detail-detail untuk menggambar peta. Hal ini dapat dilakukan dengan macam-macam metode yang akan dibicarakan. Pada banyak negara triangulasi dapat diganti dengan bantuan alat pengukur jarak secara elektronis yang dilengkapi dengan fotogrametri-udara.

2.2. Macam-macam alat ukur sudut Wild

Atas dasar apa yang sudah dibicarakan sampai saat ini dapat kita fahami bahwa penyusunan alat teodolit harus ada dua macamnya sesuai dengan penggunaannya. Triangulasi membutuhkan alat ukur sudut dengan kemungkinan pembacaan sudut seteliti mungkin. Alat ukur sudut ini dinamakan **teodolit reiterasi** atau teodolit setik/sekon. Pada poligon dan penyipatan detail ketelitian pembacaan sudut 1/10' memenuhi kebutuhan jikalau ada kemungkinan mengukur jarak secara optis. Pada dua-duanya ketelitian tergantung pada tiga faktor: alat ukur sudut, cara pengukuran/penyipatan dan cara mengatasi kesalahan-kesalahan. Sebelum kita berlatih dengan contoh contoh pengukuran sudut dsb. kita harus memperhatikan pengaruh pengaruh itu.

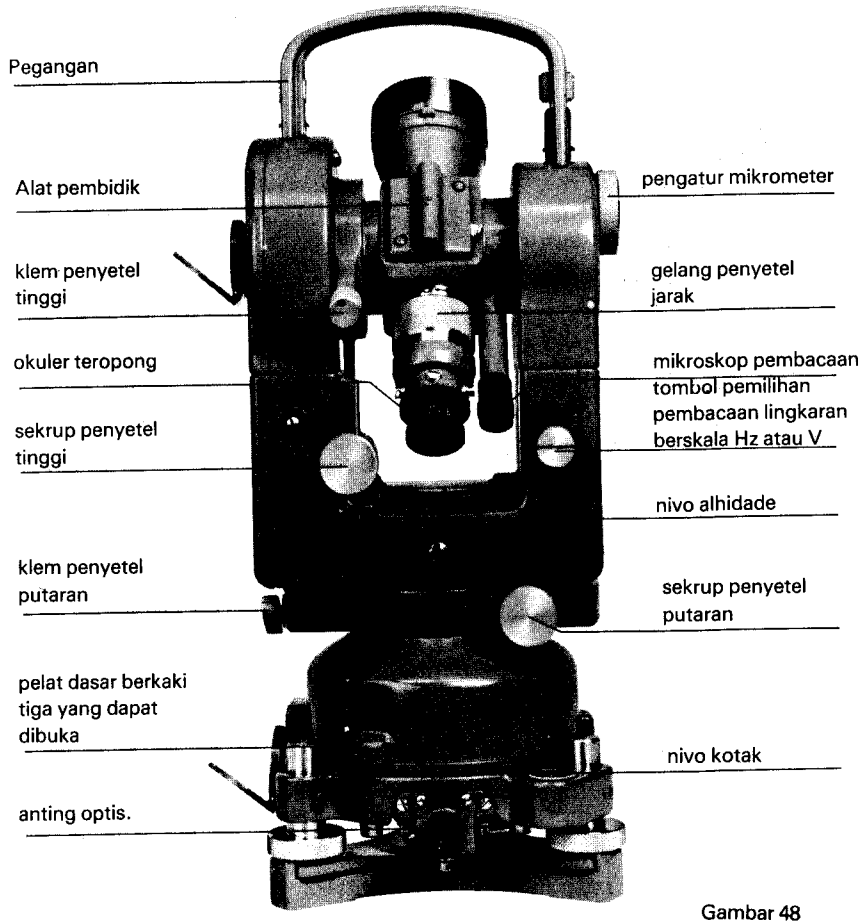


Gambar 47

Suatu alat ukur sudut terdiri dari tiga bagian utama, yaitu: bagian bawah yang tidak dapat bergerak dengan pelat dasar berkaki tiga, bagian atas yang bisa bergerak dan teropong. Pelat dasar berkaki tiga dipasang di atas statif dan dihorisontalkan dengan bantuan nivo kotak. Pada teodolit yang sederhana dan agak tua pada pelat dasar ini juga dipasangkan lingkaran horisontal berskala seperti terlihat pada gambar 47 di atas. Pada alat ukur sudut yang lebih modern lingkaran horisontal berskala dapat distel juga. Pada bagian atas (alhidate) yang dapat berputar pada garis sumbu pertama (vertikal) dipasangkan kaki penyangga dengan sumbu kedua (horisontal) yang dilengkapi dengan teropong (garis bidik) dan lingkaran vertikal berskala. Alhidade juga mempunyai alat pembaca lingkaran horisontal berskala. Bagian bawah dapat dihorisontalkan kira-kira saja dengan nivo kotak akan tetapi kemudian ditelitikan dengan nivo alhidade. Dengan bantuan sebuah anting (lot) dapat kita letakkan alat ukur sudut pada titik/tugu dasar.
Lingkaran vertikal berskala dapat kita horisontalkan dengan nivo indeks atau secara automatis dengan sebuah kompensator. Dengan memutar teropong pada sumbu pertama atau sumbu kedua kita dapat membidik tiap-tiap arah tertentu dalam ruang dan dengan klem dan sekrup pada suatu titik sembarang dalam ruang.
Pada **teodolit repetisi** lingkaran horisontal berskala dapat diputar pada sumbu pertama. Karena itu sumbu pertama harus dibuat demikian rupa, sehingga menjadi suatu sumbu rangkap. Dapat juga kita pilih pembacaan lingkaran horisontal berskala misalnya sehingga pada waktu menyipat titik *A* pembacaan menjadi 0° dsb. Dengan keterangan mengenai penyusunan alat ukur sudut yang singkat ini kita akan memperhatikan lebih teliti teodolit-teodolit yang lebih modern. Teodolit modern didasarkan pada pengalaman, bahwa teodolit kuno menjadi berat, pembacaan lingkaran horisontal dan vertikal makan waktu dan memenatkan terutama pada pekerjaan triangulasi pada lapangan yang sulit dengan teodolit reiterasi. Heinrich Wild yang mengalami kesulitan ini sendiri pada pekerjaannya di lapangan, mengatur kesulitan ini dengan jiwa penelitinya yang genial: ia membangun **teodolit universil Wild T2** pada tahun 1924.

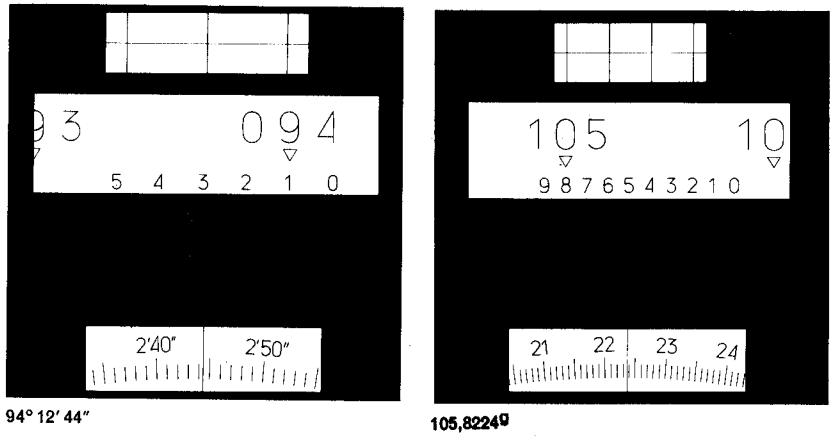
2.2.1. Teodolit universil Wild T2

Pada pembuatan alat ukur sudut ini pertama kali digunakan lingkaran-lingkaran dari kaca dan sistim pembacaan secara optis. Sistim pembacaan ini menghubungkan dua lingkaran tsb. pada satu bayangan yang dapat dibaca sekaligus pada mikroskop yang berada di samping okuler teropong, dan yang dinamakan mikroskop koinsidensi. Pembacaan yang disatukan dalam satu okuler menjadi pembacaan rata-rata yang dahulu didapatkan dari dua



Gambar 48

pembacaan untuk menghindari kesalahan exsentrisitas lingkaran. Dengan pembangunan teodolit modern semacam ini baru timbul kemungkinan memasang bagian-bagian yang peka ke dalam alat ukur sudut dan konstruksi itu memungkinkan bentuk teodolit yang kompak dan stabil. Kemungkinan pembidikan **dan** pembacaan kedua lingkaran berskala dari satu titik tegak berarti tidak hanya menghemat waktu, melainkan juga ketelitian pembacaan yang lebih tinggi.
Pembacaan koinsidensi pada teodolit Universil Wild *T2* dapat dilakukan seperti berikut:



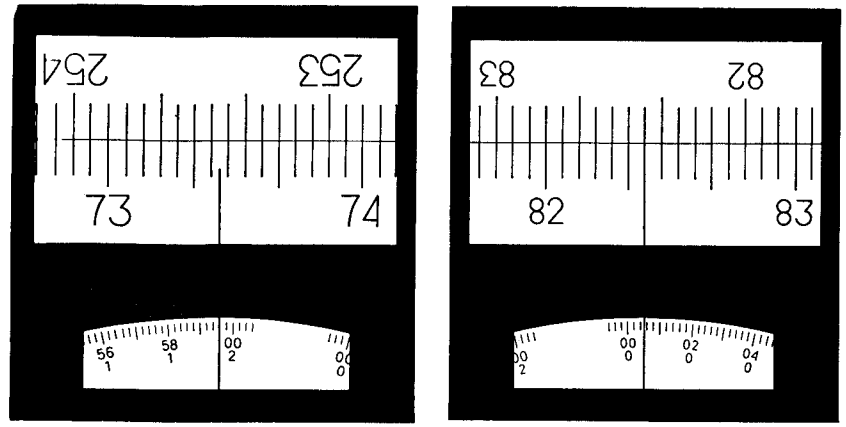
94° 12' 44" 105,8224g

Gambar 49: Pembacaan koinsidensi lingkaran horisontal dan lingkaran vertikal berskala pada teodolit universil Wild T12

Dalam bidang pandangan mikroskop pembacaan timbul pada segiempat atas lingkaran kiri dan kanan berskala. Skala-skalanya timbul seperti dibagi oleh garis halus (lihat gambar 49). Jarak antara dua garis skala itu berarti 20′ (20c). Suatu putaran teropong mengakibatkan suatu gerakan berlawanan pada kedua bayangan lingkaran. Kalau kita ambil sebagai dasar pemaduan koinsidensi pada gambar 49 dan kita putar teropong, maka garis sebelah atas dan garis sebelah bawah bergerak berlawanan. Kita akan mendapatkan sesudah suatu putaran sebesar 10′ (10c) suatu pemaduan koinsidensi (pertemuan pada 'tengah-tengah jalan'), sehingga kita dapatkan tiap-tiap 10′ (10c) suatu koinsidensi. Teodolit ini sekarang dilengkapi dengan sebuah mikrometer optis yang berskala 1″ (1cc) pada jangkanan 10′ (10c), yang menggeser dua lingkaran tsb. di atas secara optis sampai terjadi pemaduan koinsidensi. Nilai pergeseran optis ini sampai koinsidensi pada 'tengah-tengah jalan' dapat kita baca di mikroskop pada skala mikrometer sebagai nilai rata-rata kedua pergeseran lingkaran (atas dan bawah). Pada bayangan tengah kita sekarang dapat membaca derajatnya (°) sedang pada ∇-indeks nilai puluhan menit. Pada contoh ini misalnya 90°10′. Pada skala mikrometer pada bayangan sebelah bawah dapat kita baca menit dan detik/sekon, misalnya 2′ 44″ (224cc). Akhirnya pembacaan seluruhnya menjadi pada contoh ini 94°12′ 44″ (105,8224g).

Pembacaan pada lingkaran horisontal berskala dan pada lingkaran vertikal berskala menjadi sama. Sesuai dengan pengaturan tombol pemilihan pembacaan lingkaran berskala dapat kita baca dalam mikroskop: lingkaran horisontal *(Hz)* yang kuning dan lingkaran vertikal *(V)* yang putih. Tentu saja pemaduan koinsidensi harus dicari pada dua-duanya. Karena alat ukur sudut ini dilengkapi dengan indeks tingginya yang automatis, maka pembacaan lingkaran vertikal berskala dapat dibaca langsung.

2.2. Teodolit Wild T 3



pembacaan

Hz :
V 26′
1′ 59,6″
V 27′ 59,6″

pembacaan

T3 V :
82° 24′
0′ 00,5″
82° 24′ 0.05″

Gambar 50

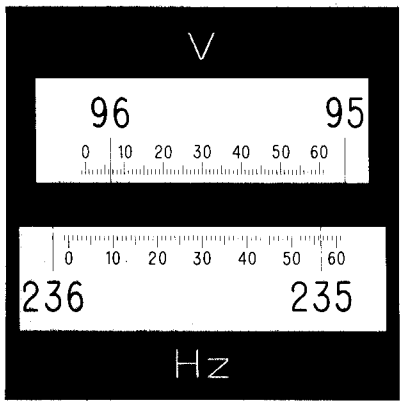
Teodolit Wild *T 3* juga dilengkapi dengan pembacaan koinsidensi. Hanya jarak antara dua garis pada skala-skalanya berarti 4′ sehingga pada tiap tiap 2′ timbul satu koinsidensi. Karena skala mikrometer dibagi 1200 maka berarti ketelitiannya 0,1″.

Pada contoh gambar 50 sebelah atas kita baca, mulai dari kiri, 73°. Sampai angka 253° yang terbalik sebelah atas dan yang selisihnya 180°, dapat kita menghitung 13 jarak bernilai 2′ maka hasil yang kita dapat ialah 73°26′. Pada skala mikrometer sebelah bawah kita baca 1′ 59,6″ maka pembacaan selulunya berarti 73°27′ 59,6″. Pembacaan lingkaran vertikal berskala dapat kita lakukan dengan cara yang sama, sesudah nivo indeks disetel.

2.3. Teodolit repetisi dan teodolit tachimetri

Pada teodolit repetisi dan teodolit tachimetri mikroskop pembacaan juga dipasangkan di samping okuler teropong. Pembacaan hanya dilakukan pada satu bagian lingkaran berskala karena pengaruh exsentrisitas lingkaran pada jarak bidik yang pendek pada penyipatan detail amat kecil, dan jika perlu dapat diabaikan dengan mengukur sudut pada dua posisi teropong. Ketelitian pembacaan dengan ± 0,1′ biasanya cukup pada teodolit repetisi atau teodolit tachimetri.

Mikroskop skala

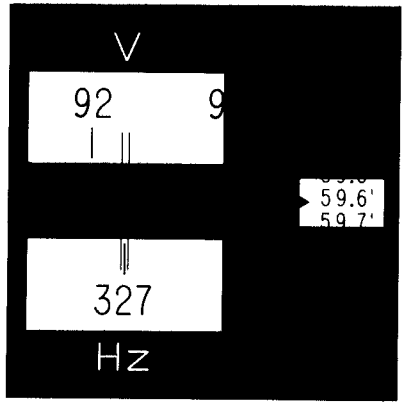


Pembacaan T16: V = 96°06,5′
Hz = 235°56,5′

Gambar 51

Pada bidang pandangan mikroskop pembacaan pada mikroskop skala dapat kita lihat sekaligus lingkaran horisontal berskala *(Hz)* sebelah bawah dan lingkaran vertikal *(V)* sebelah atas seperti terlihat pada gambar 51 kiri. Pada kedua lingkaran setiap derajat terbagi. Bagian yang akan dibaca pada mikroskop diproyeksikan pada suatu pelat kaca yang dibagi atas 60′ (100c) demikian rupa, sehingga pada contoh ini dapat dibaca pada *Hz* 235° (pada lingkaran horisontal berskala) 56,6′ (pada pelat kaca berskala). **Skala-teodolit Wild** *T 16* dengan indeks automatis dan **teodolit diagram-tachimeter Wild RDS** dilengkapi dengan mikroskop-skala.

Mikrometer optis

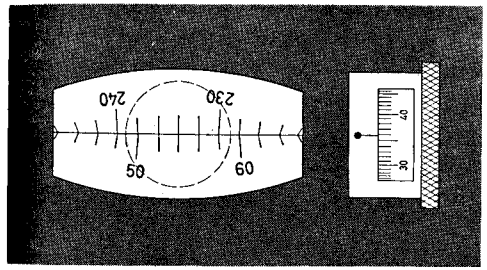


pembacaan T1: Hz = 327°59′36″

Gambar 52

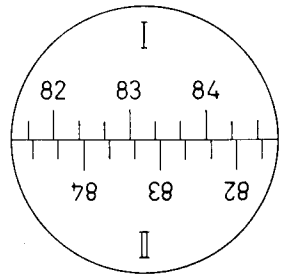
Pada bidang pandangan mikroskop pembacaan terlihat juga di sini lingkaran *Hz* dan lingkaran *V* bersama-sama seperti terlihat pada gambar 52 kiri. Dengan putaran tombol mikrometer pada kaki penyangga kanan kita menggeser dua garis tipis sehingga mengapit satu garis derajad dari lingkaran berskala. Pergeseran dapat dibaca sebelah kanan pada contoh ini misalnya lingkaran horisontal berskala *Hz* = 327°59,6′. Pembacaan lingkaran vertikal berskala dapat disetel dengan tombol mikrometer. Kemudian dengan cara pembacaan ini kita dapatkan pada **teodolit mikrometer Wild T1** dengan indeks automatis.

2.2.4. Teodolit kompas Wild T0 (lihat gambar 114)



54° 36′

Pembacaan lingkaran horisontal



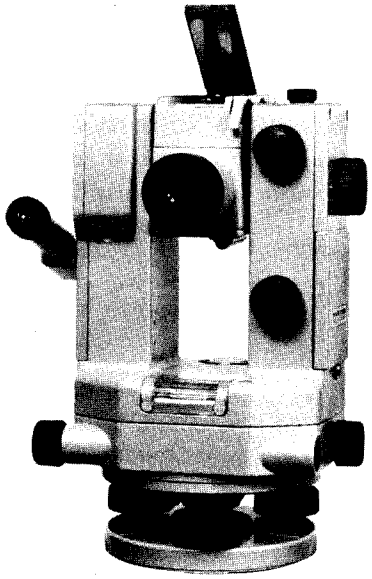
Gambar 53

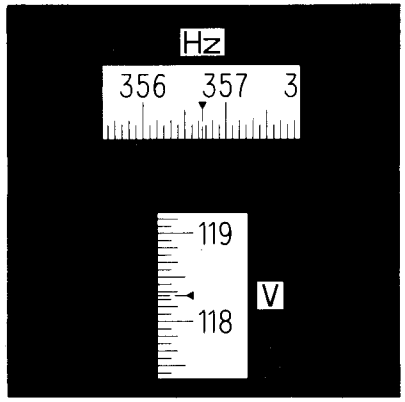
83° 12 = +6° 48′

Pembacaan lingkaran vertikal

Untuk penyipatan dengan ketelitian yang tinggi di hutan atau pada ekspedisi-ekspedisi kita menggunakan **teodolit kompas Wild T0.** Alat ukur sudut ini dilengkapi dengan lingkaran horisontal berskala yang berputar bebas dan jarum magnit yang selalu menunjuk ke utara (kutub utara magnetis). Karena lingkaran ini bersifat exsentris dan adanya paralaks, maka di sini juga diadakan pembacaan koinsidensi seperti dibicarakan pada teodolit universil Wild T2, lihat juga gambar 53 di atas. Derajat-derajat kita baca dari bawah kiri ke atas kanan dan menit-menit pada indeks teromol mikrometer, pada contoh ini 54°36′. Pembacaan lingkaran vertikal dilakukan sesudah nivo indeks disetel pada kedua bagian lingkaran yang dicerminkan diametral tanpa koinsidensi. Derajat-derajat dan puluhan menit dapat dibaca, menit-menit diperkirakan.

2.2.5. Teodolit Wild T05





Hz = 356° 42'
V = 118° 18'

Gambar 54

Untuk pekerjaan-pekerjaan konstruksi bangunan dsb. dengan ketelitian menit kita dapat menggunakan **teodolit Wild T05** yang sangat ekonomis. Skala pada lingkaran horisontal dan lingkaran vertikal berskala dibuat 10′ (10ᶜ) dan dapat diperkirakan pada 1′ (1ᶜ). Teodolit ini dilengkapi dengan penerangan lingkaran-lingkaran dengan batu baterei yang akan hidup selama 30 sekon jikalau ditekan tombolnya. Perlengkapan tersebut memungkinkan juga penggunaan alat ukur sudut ini di dalam gedung-gedung yang agak gelap. Sebagai tambahan perlengkapan dapat juga dipasang suatu nivo tabung khusus yang memungkinkan penggunaan teodolit ini sebagai alat penyipat datar.

2.2.6. Data-data tentang alat ukur sudut

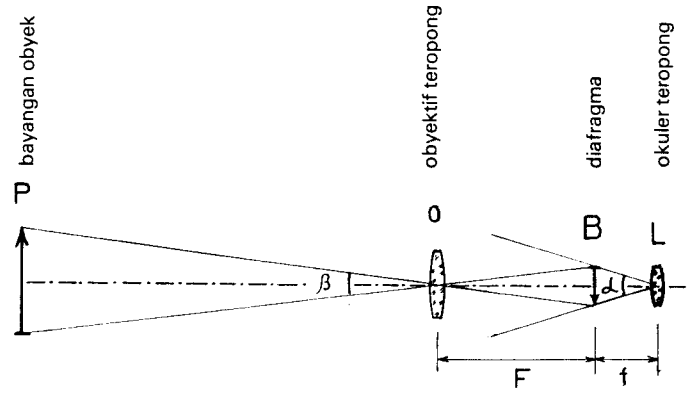
Lihat juga data-data tentang alat ukur sudut Wild pada bab 2.2.8. berikut.

a) Nivo tabung koinsidensi

Nivo indeks pada teodolit Wild T3 dan teodolit diagram-tachimeter Wild RDS adalah nivo tabung koinsidensi, seperti sudah diterangkan pada bab

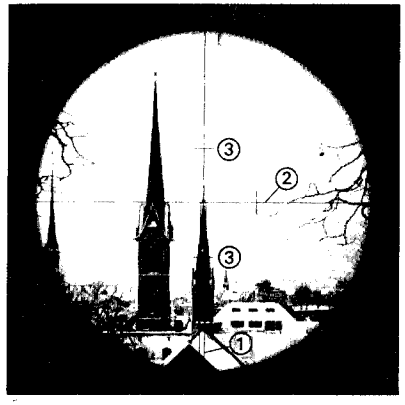
1.2.1. (Bagian-bagian alat penyipat datar). Pembacaan lingkaran vertikal baru dapat dilakukan sesudah gelembung di-koinsidensi-kan dengan bantuan tombol pengatur nivo. Untuk membedakan dengan sekrup-sekrup lain yang berkelar-kelar sekrup ungkit tabung dibuat bergerigi.

b) Bayangan teropong

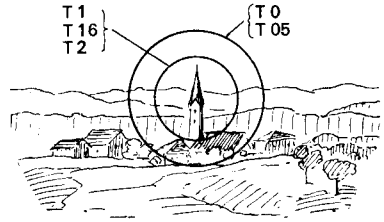


Gambar 55

Pada teropong astronomi teodolit kompas Wild T0 dan teodolit Wild T3 bayangan objek pada diafragma terbalik seperti terlihat pada gambar 55 di atas. Bayangan objek kita perhatikan melalui okuler teropong, yang bertindak sebagai kaca pembesar. Hampir semua teodolit Wild dilengkapi dengan suatu sistim prisma yang memungkinkan tercapainya bayangan objek yang tegak (teropong bumi).



Gambar 56



Gambar 57

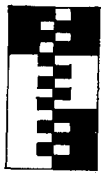
Pada diafragma juga ada **benang-silang** yang di-ets pada suatu pelat kaca seperti sudah diterangkan pada bab 1.2.1. (Bagian-bagian alat penyipat datar) dengan perbedaan, bahwa pada teodolit bagian bawah benang vertikal terdiri dari dua garis sejajar (1) seperti terlihat pada gambar 56 di atas. Perlengkapan ini memungkinkan menyetel teropong tajam juga pada sasaran yang agak jauh atau berukuran gemuk. Semua benang-silang teodolit dilengkapi dengan benang stadia (3) kecuali teodolit Wild T3.
Penyetel teropong tajam pada sasaran kita lakukan dengan memutar gelang penyetel fokus dan pada teodolit diagram-tachimeter Wild RDS dan teodolit Wild T05 dengan sekrup penyetel fokus.

c) Medan pandangan (gezichtsveld)

Medan pandangan suatu teropong merupakan bidang lingkaran. Garis-tengahnya tergantung dari jarak titik api *F* dan garis-tengah diafragma. Makin pendek jarak titik api makin besar sudut penglihatan β pada garis-tengah diafragma α yang tetap, seperti terlihat pada gambar 55 tadi. Garis-tengah medan pandangan kita tentukan biasanya dalam $^{o}/_{oo}$ (m per km). Pada gambar 57 di atas kita lihat garis-tengah medan pandangan pada teodolit Wild masing-masing.

d) Pembesaran

Pembesaran teropong sudah diterangkan pada bab 1.2.1. (Bagian-bagian alat penyipat datar). Gambar 58 kiri memperlihatkan perbedaan pembesaran teropong pada teodolit Wild masing-masing pada suatu rambu ukur dengan jarak tetap.



T1, T16, T2

T05, T0

Gambar 58

e) Data-data tentang alat ukur sudut Wild

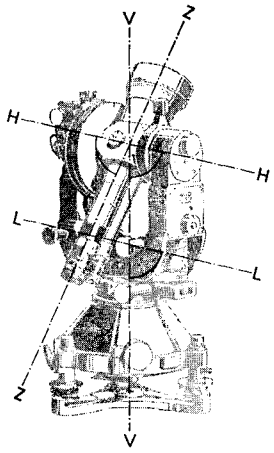
Data-data / alat ukur sudut tipe:	T05	T0	T1	T10	T2	T2
1 pembesaran bayangan teropong	19×	20×	30×	30×	30×	24× 30×, 40×
bayangan tegak E						
bayangan terbalik U	E	U	E	E	E	U
2 garis-tengah obyektifnya (mm)	25	30	42	42	40	60
3 medan pandangan dalam m/100 m	39	35	27	27	29	28
4 jarak bidik terpendek (m)	0.80	1.00	1.70	1.70	2.20	3.6
5 konstant stadia	100	50/100	100	100	100	—
6 pembagian skala terkecil 360°	2′	20″	6″	1′	1″	0.2″
400g	10c	1c	0.2c	1c	1cc	1cc
dapat diperkirakan s/d 360°	0.5′ = 3-0″		3″	0.1′ = 6- ″	—	0.1″
400g	1c	1c	0.1c	0.1c		0.5cc
7 kepekaan nivo alhidade per 2 mm	60″	8′	30″	30″	20″	6″
kepekaan nivo indeks per 2 mm	—	60″	*)	*)	*)	12″**)
8 Ketelitian pada indeks yang automatis	—	±10″	±1″	±1″	±0.3″	±0.4″
9 Berat sendiri alat ukur sudut	3.0	2.7	5.8	5.3	6.0	11.2
Beratnya kotak	2.2	2.6	2.8	2.8	2.2	3.7
Buku petunjuk alat ukur sudut	G1 269 G2 234	G1 270 G1 235	G1 236 G2 261	G1 241 G2 243	G1 246 G2 244	G1 219 G2 207

*) dengan indeks automatis **) pembacaan koinsidensi
(Foto-foto alat ukur sudut Wild dapat dilihat pada bab 3.2. Hasil produksi perusahaan Wild Heerbrugg Ltd. Switzerland)

2.2.7. Sifat-sifat penting pada teodolit

Walaupun kita menggunakan alat ukur sudut yang istimewa serta jaringan triangulasi halus sekali dan tepat, ketelitiannya masih tergantung dari pembacaan masing-masing. Ini berarti, bahwa ada pengaruh keterbatasan mata manusia, pengaruh iklim, suhu, angin dan sinar matahari yang dialami setiap penyipatan. Maka tiap-tiap teodolit mengakibatkan kesalahan-kesalahan kecil. Supaya kesalahan-kesalahan dapat diatasi dan sebanyak mungkin disingkirkan, kita harus memperhatikan beberapa syarat.

a) Pengaturan sumbu-sumbu



Gambar 59

Supaya suatu pengukuran sudut dapat dilakukan dengan tepat sistim sumbu-sumbu pada suatu teodolit harus memenuhi syarat-syarat berikut:

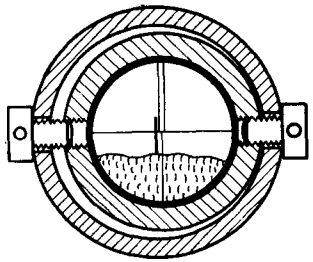
1. LL ⊥ VV Sumbu nivo alhidade siku pada sumbu pertama
2. ZZ ⊥ HH Garis bidik siku pada sumbu kedua
3. HH ⊥ VV Sumbu kedua siku pada sumbu pertama
4. Sumbu nivo indeks harus sejajar dengan garis bidik yang disetel horisontal atau indeks yang automatis harus bekerja.

Pada umumnya alat ukur sudut yang modern stabil sekali dan bekerja tepat walaupun dipakai bertahun-tahun. Tetapi sesudah dipindah-pindahkan dengan kasar, karena benturan dsb. sebaiknya alat ukur sudut itu diperiksa. Jikalau perbedaan/kesalahan besar maka syarat-syarat 1, 2 atau 4 masing-masing dapat dikoreksi. Syarat ke-3 hanya dapat dilakukan pada perusahaan yang membuat alat penyipat ruang itu, dan kalau kesalahan timbul di situ biasanya teodolit itu memerlukan suatu revisi.

b) Pemeriksaan dan cara mengatur sumbu

Kesalahan sumbu nivo alhidade terhadap sumbu pertama LL ⊥ VV:
Pemeriksaan dan cara mengatur dapat kita lakukan seperti telah dibicarakan pada bab 1.3. (Persiapan pekerjaan) dengan gambar 18 dan gambar 19. Sebagai nivo tabung pada alat penyipat datar kita perhatikan nivo alhidade pada alat ukur sudut.

Kesalahan garis bidik terhadap sumbu kedua ZZ ⊥ HH: (lihat gambar 59 + 60):



Gambar 60

Teropong dibidikkan pada suatu sasaran (lingkaran vertikal sebelah kiri) dan baca lingkaran horisontal berskala. Kemudian kita putar teropong (demikian rupa, sehingga lingkaran vertikal berada sebelah kanan) dan kita bidik sasaran yang sama. Pembacaan lingkaran horisontal berskala dikurangi dengan 180° harus sama dengan pembacaan pertama dalam ketelitian yang ditentukan pada data-data alat penyipat ruang. Kesalahan yang timbul dalam nilai detik atau menit menjadi dua kali kesalahan garis bidik terhadap sumbu kedua.
Pengaruh kesalahan ini tidak mempengaruhi pembacaan dan penentuan sudut-sudut horisontal, maka kita hanya mengatur kalau kesalahan ini besar. Pengaturan kita lakukan dengan menyetel mikroskop pembacaan dengan separuh nilai kesalahan pembacaan dengan sekrup penggerak horisontal atau dengan sekrup mikrometer dan sekrup penggerak horisontal (di-koinsidensi-kan). Benang-silang vertikal dengan begitu bergerak ke samping seperti terlihat pada gambar 60 di atas. Dengan dua atau tiga sekrup dekat okuler kita hal ini dapat disetel menurut buku petunjuk.

Kesalahan pada indeks lingkaran vertikal:

Gambar 61

Sebelum pembacaan lingkaran vertikal gelembung pada nivo indeks harus di tengah-tengah dengan kekecualian teodolit yang mempunyai indeks ver-

tikal automatis. Pada garis bidik yang horisontal kemudian sudut vertikal (zenit) seharusnya 90°00′ 00″.
Kita dapat membuktikan ketentuan ini sebagai berikut: bidik suatu sasaran tertentu dengan benang-silang horisontal dan baca lingkaran vertikal (pada teodolit Wild *T0, T3* dan *RDS* harus diperhatikan gelembung nivo indeks lebih dahulu). Sekarang kita putar teropong dan bidik sasaran yang sama. Jumlah pembacaan pertama dan pembacaan kedua seharusnya 360°. Jikalau tidak, harga perbedaan dua kali kesalahan indeks (lihat gamber 61 di atas).

Contoh:

Pembacaan pada peletakan teropong B (biasa)	86°42′ 15″
Pembacaan pada peletakan teropong LB (luar biasa)	273°14′ 30″
Jumlah	359°56′ 45″
Jumlah seharusnya	360°00′ 00″
Harga perbedaan	— 3′ 15″
Kesalahan indeks (½)	— 1′ 37″

Kemudian kita harus mengoreksi tiap-tiap pembacaan sebesar + 1′ 37″ (Pengaturan kesalahan indeks menurut buku petunjuk teodolit masing-masing). Dengan kekecualian kesalahan pemasangan/peletakan alat ukur sudut semua kesalahan pemasangan/peletakan alat ukur sudut semua kesalahan sumbu-sumbu dan indeks dapat diatasi dengan pembacaan dua kali (dengan teropong terputar) dan dengan menghitung nilai rata-rata, asal nivo alhidade benar-benar horisontal. Terutama pada pengukuran sudut yang curam.

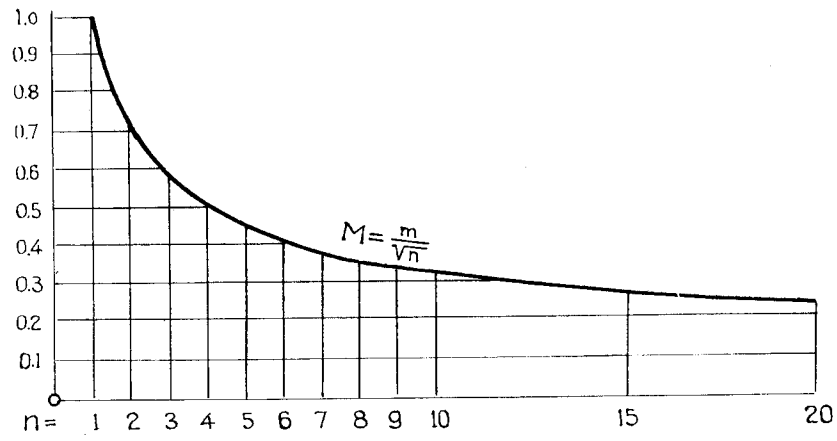
Kesalahan pembidikan

Kita dapat membidik teliti hanya jikalau tidak ada paralaks antara sasaran dan benang-silang. Ketentuan ini harus diperiksa sebelum tiap-tiap pembacaan. Harus diperhatikan khusus bahwa iklim dan atmosfir mempersulit tugas ini. Jikalau sebuah sasaran tidak mungkin kita bidik sekaligus dengan tepat, sasaran itu kita bidik beberapa kali dan diambil nilai rata-rata.

Kesalahan pada skala lingkaran

Pada penentuan sudut-sudut yang harus teliti sekali sasaran juga kita bidik beberapa kali. Karena titik-titik pembacaan lingkaran terbagi rata pada seluruh lingkaran, maka kesalahan pada skala lingkaran yang sifatnya kecil sekali akan terkompensasi. Hal yang sama terjadi pada pembacaan skala mikrometer. Cara-cara pengaturan tergantung dari teodolit dan akan diterangkan pada bab-bab yang akan datang.
Seperti telah ditentukan pengaruh kesalahan masing-masing saling diperkecil dengan pengaturan penyipatan yang baik dan dengan membidik sasar-

an sasaran beberapa kali. Selain dari segi ekonomi keterbatasan juga timbul dari mata manusia, alat ukur sudut, iklim dan suhu. Ketelitian penyipatan hanya secara terbatas dapat ditingkatkan dengan menambah jumlah pembidikan suatu sasaran. Jikalau kita membidik suatu sasaran n-kali dengan kesalahan m, kesalahan rata-rata M bukan m/n melainkan $M = m/\sqrt{n}$.



Gambar 62

Jikalau kita memperhatikan parabol pada gambar 62 di atas maka kita lihat, bahwa ketelitian hampir tidak dapat ditingkatkan lagi sesudah 5 atau 6 kali pembacaan.

2.2.8. Pemilihan teodolit yang cocok

Dalam praktek kita mencoba mencapai ketelitian yang diperlukan dengan waktu dan pekerjaan yang sesedikit mungkin. Syarat ini dapat kita penuhi dengan pemilihan alat ukur sudut yang cocok dan pengaturan penyipatan yang praktis. Data-data alat ukur sudut yang akan digunakan harus seimbang dengan tugasnya. Tugas-tugas yang akan dilakukan dengan alat ukur sudut sudah harus diperhatikan pada waktu membeli alat itu.
Pada prinsipnya teodolit-teodolit dapat dibagi atas tiga golongan seperti dapat dilihat pada tabel berikut:

Golongan	tipe	ketelitian yang dapat diperkirakan	menjadi sebanyak 1 cm atas
I	T05 T0	1′	kira-kira 30 m
II	T1 T16 RDS	6″	300 m
III	T2 T3	1″ 0.2″	2 km 10 km

Perbedaan ketelitian antara tiga golongan ini menjadi besar. Golongan I sebaiknya digunakan pada pekerjaan-pekerjaan penyipatan yang sederhana dengan keterangan, bahwa tipe T0 dilengkapi dengan kompas. Golongan II terdiri dari teodolit tachimetri dan teodolit poligon. Jarak bidik biasanya sampai dengan 150 m. Alat penyipat ruang ini cocok pada pekerjaan penyipatan detail pada lapangan terbatas, dan pada triangulasi dengan T3 pada triangulasi primer sampai 60 km dan T2 yang ringan itu pada pekerjaan triangulasi sekunder dan tersier.

2.3. Perhitungan kesalahan

Semua penyipatan, pengukuran atau pemeriksaan yang kita lakukan selalu mengandung ketidak-pastian atau kesalahan. Memang pada prinsipnya tidak mungkin kita menentukan suatu jarak atau sudut dengan tepat. Kita hanya dapat menentukan harga perkiraan. Dengan perhitungan kesalahan, maka dapat diperkirakan besarnya kesalahan pada ukuran. Tambahan pula terdapat informasi penting tentang kualitas ukuran. Kesalahan-kesalahan yang timbul dapat dibagi atas tiga kelompok berikut.

2.3.1. Jenis-jenis kesalahan

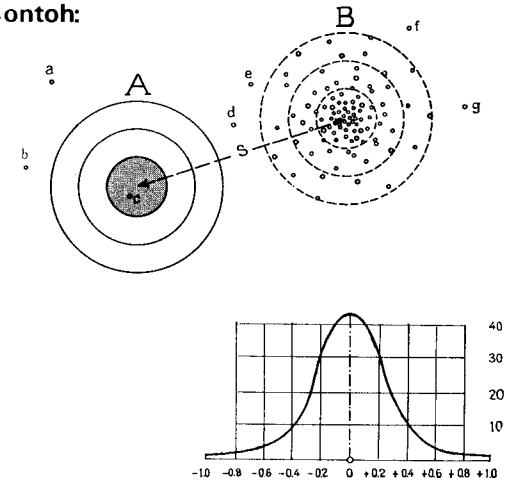
Kesalahan kasar timbul oleh kekeliruan yang berat, dan selalu dapat dihindarkan dengan penyipatan yang teliti dan tepat. Karena semua penyipatan pada umumnya dilakukan dua kali, kesalahan kasar mudah ditiadakan.

Kesalahan acak (kebetulan) ialah ke-tidak-telitian yang selalu timbul pada penyipatan, oleh perubahan suasana dan lapangan dan oleh perbedaan kecil pada pembuatan alat ukur sudut yang tidak dapat diatasi. Kesalahan acak (kebetulan) mempengaruhi hasil penyipatan secara tidak tentu dan timbul baik dengan **tanda positif** maupun dengan **tanda negatif.** Pada

cara-cara mengatasi kesalahan-kesalahan kita hanya mencantumkan kesalahan acak.

Kesalahan sistimatik timbul sepihak, bertanda atau positif atau negatif. Kesalahan sistimatik diakibatkan oleh penyipatan yang ceroboh (misalnya: rambu ukur yang tidak diluruskan atau pengukuran jarak dengan pita ukur yang tidak teliti) atau oleh pengaruh suasana pada garis bidik dan oleh alat ukur sudut yang tidak dengan teliti disetel.
Kesalahan sistimatik dapat diatasi dengan penentuan pengaruhnya secara analitis, bekerja teliti dan dengan alat ukur sudut yang disetel dengan teliti juga.

Contoh:



Gambar 63

Sebagai keterangan pengaruhnya kesalahan-kesalahan di atas, perhatikan contoh berikut (lihat juga gambar 63 di atas):
Seorang penembak membidik dengan bedilnya ke sasaran *A*. Sesudah ia menembak beberapa kali diperiksanya hasil tembakannya. Ternyata berkisar di bawah *B* kecuali yang mengenai titik *a, b* dan *c* yang jelas merupakan **kesalahan kasar,** karena tidak dibidik dengan teliti. Hasil tembakan yang lain terletak sekitar suatu titik pemusatan, sebagian sebelah kiri dan sebagian sebelah kanan, sebagian sebelah bawah dan sebagian sebelah atas. Ini merupakan **kesalahan acak. Karena titik pemusatan ini terletak pada** *B* dan bukan pada sasaran *A* yang seharusnya, maka terjadi **kesalahan sistimatik sebesar s.** Kesalahan ini mungkin ada pada penembak atau karena ada angin dari samping atau alat pembidik pada bedil bengkok dsb. Kesalahan sistimatik ini hanya dapat diperbaiki jikalau kita mengetahui sebabnya.

Hal ini berlaku pula pada kesalahan dalam menyipat. Sifat-sifat kesalahan kebetulan dapat dilihat pada garis kesalahan pada gambar 63 di atas. Jikalau dibandingkan dengan sasaran pengenaan pada 'sasaran' *B*, dapat kita mengambil kesimpulan berikut:

1. Banyaknya kesalahan yang positif dan yang negatif kira-kira sama, maka jumlahnya menjadi nol.
2. Banyaknya kesalahan kecil lebih besar daripada kesalahan besar.
3. Kesalahan besar (*d, e, f* dan *g*) agak jarang.

2,3.2. Kesalahan rata-rata

Sebagai penilaian terhadap si penembak kita menentukan jarak-jarak dari titik berat (sasaran) dan menentukan **kesalahan rata-rata t**, yang menjadi jumlah jarak [|v|] bagi banyaknya lubang tembakan bagai berikut:

$$t = \frac{[|v|]}{n}$$

2.3.3. Kesalahan rata-rata kuadratis (salah menengah)

Pada penentuan kesalahan rata-rata pengaruh kesalahan yang besar masih kurang diperhatikan. Maka kita menentukan **kesalahan rata-rata kuadratis m** sebagai jumlah kuadrat kesalahan masing-masing. Cara ini kadang-kadang juga dinamakan **least squares method** atau salah menengah. Jikalau kita misalnya telah mengukur *n*-kali suatu sudut α seteliti mungkin dengan alat penyipat ruang yang sama, maka sudut α rata-rata dapat kita tentukan sebagai harga rata-rata:

$$x = \frac{1}{n}(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \ldots + \alpha_n) = \frac{[\alpha]}{n}$$

Dapat dianggap sebagai harga sudut yang paling mungkin. Harga rata-rata x diperlakukan sebagai harga 'benar' dan harga α_1, α_2, α_n sebagai harga 'pengamatan'. Harga 'benar' dikurangi harga 'pengamatan' menghasilkan 'koreksi', yaitu harga residu *v*. Dengan harga ini harga 'pengamatan' harus dikoreksi agar diperoleh harga rata-rata ('benar').

Hendaknya diperhatikan aturan yang berikut:

Harga 'benar'	− Harga 'pengamatan'	=	koreksi
Harga 'benar'	= Harga 'pengamatan'	+	koreksi
Harga 'pengamatan'	− Harga 'benar'	=	kesalahan
Harga 'pengamatan'	= Harga 'benar'	+	kesalahan

x α_1 + v_1 atau $v_1 = x - \alpha_1$.

Jumlah semua perbaikan *v* adalah nol. Dari residu-residu ini dapat kita tentukan kesalahan rata-rata kuadratis *m* menurut rumus berikut:

$$m = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}}$$

dengan $n-1$ sebagai jumlah pengamatan yang lebih, karena dengan satu pengamatan saja kita masih belum dapat menentukan kesalahan rata-rata. Kesalahan rata-rata kuadratis *M* dari rata-rata aritmetis x_1 _____ diperoleh dari *n* pengamatan menjadi:

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{[v^2]}{n.(n-1)}}$$

Contoh: Pengamatan suatu sudut α sebanyak lima kali menghasilkan harga-harga berikut:

		v	v^2
α_1	165°35′ 18″	+2.6″	6.76
α_2	22	−1.4	1.96
α_3	20	+0.6	0.36
α_4	26	−5.4	29.16
α_5	17	+3.6	12.96
Jumlah	103″	[v] = 0.0	$[v^2] = 51.20$

Rata-rata adalah: 103:5 = 20.6″; x = 165°35′ 20.6″

Kesalahan rata-rata *m* pada pengamatan masing-masing adalah:

$$m = \sqrt{\frac{51.2}{5-1}} = \pm\sqrt{12.8} = \pm 3.6''$$

Kesalahan rata-rata kuadratis *M* dari harga rata-rata lima pengamatan menjadi:

$$M = \frac{\pm 3.6}{\sqrt{5}} = \pm 1.6''$$

Jikalau salah satu pengamatan harus dikoreksi dengan *v* yang sangat besar kita hanya boleh mengabaikannya, jikalau *v* lebih besar daripada 3 kali *m*.

2.3.4. Kesalahan perkiraan

Kesalahan perkiraan *P* kita hitung dengan bantuan kesalahan rata-rata *m* menurut rumus berikut:

$$p = 0{,}6745\, m \cong \frac{2}{3} m$$

Kesalahan perkiraan biasanya digunakan pada ilmu astronomi dan pada karangan-karangan dari Amerika.

2.3.5. Perambatan kesalahan

Bila suatu besaran harus dihitung dari sejumlah hasil pengamatan, maka biasanya juga ingin diketahui berapa besar pengaruh kesalahan pada masing-masing pengamatan terhadap hasil akhir. Artinya bagaimana kesalahan-kesalahan itu menjalar.

a) Pada suatu penjumlahan

Kita menentukan suatu harga x dengan menjumlahkan atau mengurangkan dua nilai penyipatan l, dan l_2 dengan kesalahan rata-rata kwadratis m pada l dan m_2 pada l_2. Kesalahan rata-rata kwadratis dari x adalah:

$$M_x = \pm \sqrt{m_1^2 + m_2^2}.$$

Pada umumnya kesalahan rata-rata kuadratis suatu harga

$$x = \pm l_1 \pm l_2 \pm l_3 = \ldots l. \text{ jikalau } \pm m_1, \pm m_2, \pm m_3 \ldots \pm m_n.$$

adalah kesalahan l, dan kemudian

$$M_x = \pm \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 \ldots m_n^2}.$$

Jikalau semua harga l disipat dengan ketelitian yang sama, maka kesalahan rata-rata kuadratis juga sama, maka

$$M_x = m\sqrt{n}.$$

Contoh 1: Tiga sudut berikut disipat beberapa kali dengan hasil berikut:

$\alpha_1 = 35°14'51''$ dengan $m_1 = \pm 5''$
$\alpha_2 = 45°19'27''$ dengan $m_2 = \pm 9''$
$\alpha_3 = 12°45'20''$ dengan $m_3 = \pm 7''$
$x = 93°19'38''$

$$M_x = \pm \sqrt{5^2 + 9^2 + 7^2} = \pm 12.4''.$$

Contoh 2: Dua sudut suatu segitiga disipat dengan kesalahan rata-rata kuadratis yang sama $m = \pm 7{,}5''$

$\alpha = 49°25'32''$
$\beta = 65°45'22''$
$\alpha + \beta = 115°10'54''$.

Sudut ke-tiga $\gamma = 180° - 115°10'54'' = 64°49'06''$ dengan kesalahan rata-rata kuadratis:

$$M_\gamma = \pm 7.5\sqrt{2} = \pm 10.6''.$$

b) Pada suatu perkalian

Suatu nilai penyipatan l dengan kesalahan rata-rata kuadratis m harus dikalikan dengan a, maka $x = a.l.$ Kesalahan rata-rata kuadratis M_x adalah:

$$M_x = \pm a.m$$

Karena faktor a tidak terisi, maka kesalahan m adalah suatu kesalahan sistimatik.

Contoh: Suatu pita ukur dengan panjangnya 20 m memiliki suatu kesalahan (ke-tidak-telitian) rata-rata $\pm$ 0,15 mm. Carilah kesalahan pada jarak 100 m.

$$M = \pm 5.\ 0.15 \text{ mm} = \pm 0.75 \text{ mm}.$$

c) Dengan kombinasi perambatan kesalahan oleh penjumlahan dan oleh pengalian

Pada suatu kombinasi perambatan kesalahan oleh penjumlahan dan oleh pengalian dapat kita tentukan:

$$M_x = \pm \sqrt{(a_1 m_1)^2 + (a_2 m_2)^2 + \ldots (a_n m_n)^2}$$

dan jikalau semua harga m dan faktor a sama:

$$M_x = \pm ma\sqrt{n}.$$

Hasil ini harga rata-rata aritmetis pada kesalahan rata-rata kuadratis.

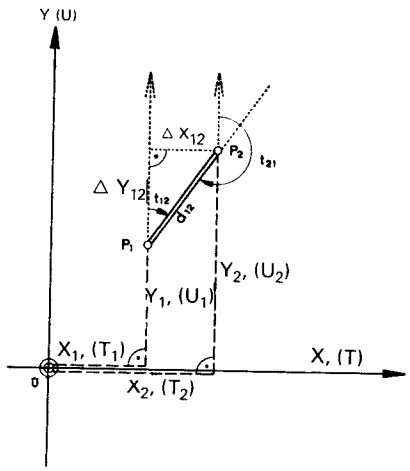
Contoh: Suatu sudut α disipat limakali dengan kesalahan rata-rata kuadratis sebesar $m = \pm 3{,}6''$. Harga rata-rata aritmetis adalah:

$$x = 1/5(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5)$$
$$= 1/5\alpha_1 + 1/5\alpha_2 + 1/5\alpha_3 + 1/5\alpha_4 + 1/5\alpha_5$$

dengan ketentuan, bahwa tiap-tiap sudut α terkena kesalahan rata-rata kuadratis m = 3,6". Kesalahan rata-rata kuadratis dari harga rata-rata aritmetis kemudian adalah:

$$M_x = \pm \sqrt{(1/5\ .\ 3.6'')^2 + (1/5\ .\ 3.6'')^2 + \text{dsb.}}$$
$$= \pm 3.6\ .\ 1/5\sqrt{5} = \pm 1.6''$$

2.4. Sistim koordinat



Gambar 64

Pada penyipatan di lapangan kita mengukur sudut dan jarak. Dengan dua nilai ini dapat kita menghitung koordinat-koordinat pada titik-titik yang disipat. Biasanya kita menggunakan **sistim koordinat yang datar dan siku-siku.** Kita dapat menentukan suatu titik sembarang dengan jaraknya dari dua sumbu koordinat seperti terlihat pada gambar 64 di atas.
Garis sumbu yang horisontal (ordinat) kita tentukan dengan huruf *x* atau *T* (Timur = sumbu timur) dan garis sumbu yang vertikal (absis) kita tentukan dengan huruf *y* atau *U* (Utara = sumbu utara). Koordinat-koordinat salah satu titik kita catat dengan nilai *x* atau *T* yang pertama dan nilai *y* atau *U* yang kedua; mula-mula selalu ke kanan dan kemudian ke atas.
Penempatan relatif dua titik tertentu dapat kita catat sebagai perbedaan koordinatnya, misalnya $\Delta y_{12} = (Y_2 - Y_1)$ dan $\Delta x_{12} = (X_2 - X_1)$ atau oleh jaraknya d_{12} dengan sudut-arahnya t_{12} (sudut dalam arah putaran jarum jam dari sumbu utara). Ketentuan ini juga dinamakan **koordinat polar.**

Pada sudut-arah *t* kita bedakan antara sudut-arah t_{12} dari P_1 ke P_2 dan sudut-arah berlawanan t_{21} dari P_2 ke P_1 seperti terlihat pada gambar 64 di atas.
Hubungan antara sudut-arah dan sudut-arah berlawanan menjadi:

$$t_{21} = t_{12} \pm 180^\circ$$

maka perbedaan antara sudut-arah berlawanan dan sudut-arah menjadi 180°.

Antara kedua sistim koordinat tersebut terdapat hubungan sebagai berikut:

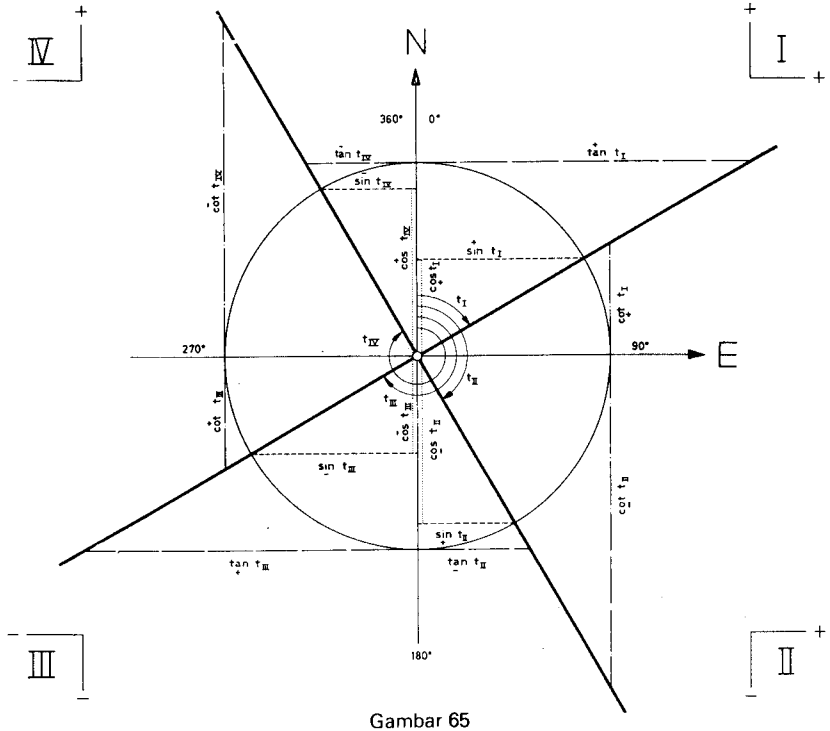
$$\tan t_{12} = \frac{X_2 - X_1}{Y_2 - Y_1} = \frac{\Delta X_{12}}{\Delta Y_{12}}$$

$$\Delta X_{12} = d_{12} \cdot \sin t_{12}. \quad \Delta Y_{12} = d_{12} \cdot \cos t_{12}$$

$$d_{12} = \frac{\Delta X_{12}}{\sin t_{12}} = \frac{\Delta Y_{12}}{\cos t_{12}}$$

$$d_{12}^2 = (\Delta Y_{12})^2 - (\Delta X_{12})^2$$

2.4.1. Ketentuan empat kuadran



Gambar 65

Karena sudut-arah *t* bisa menempatkan diri dalam lingkaran antara 0° dan 360°, sumbu koordinat akan membagi lingkaran atas empat kuadran yang ditentukan dengan I s/d. IV seperti terlihat pada gambar 65 di atas.
Kuadran IV: 270°—360° Kuadran I : 0°— 90°
Kuadran III: 180°—270° Kuadran II: 90—180°
Fungsi geometris *sin, cos, tan* dan *cot* (= 1/tan) sudut yang sama besar pada ke-empat kuadran dapat dibedakan menurut tandanya (+,—) dan

oleh co-fungsi pada kuadran II dan kuadran IV sebagai pengganti fungsi pada kuadran I dan kuadran III, seperti diterangkan pada gambar 65 di atas dengan sudut-arah $t_I = t_{II} - 90° = t_{III} - 180° = t_{IV} - 270°$.

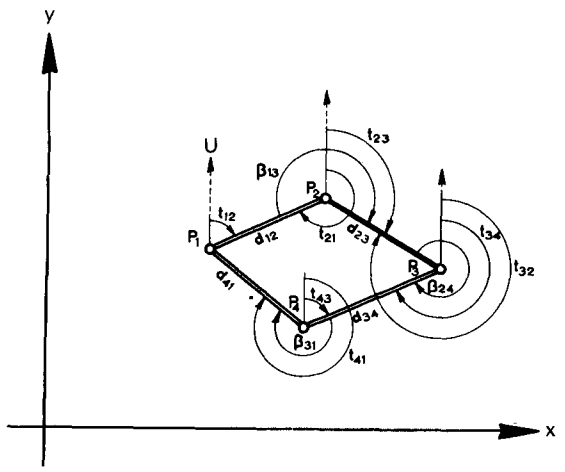
IV		
$\sin t_{IV} = -\cos(t_{IV} - 270°)$	↑	$\sin t_I = +$
$\cos t_{IV} = +\sin(t_{IV} - 270°)$		$\cos t_I = +$
$\sin t_{III} = -\sin(t_{III} - 180°)$		$\sin t_{II} = +\cos(t_{II} - 90°)$
$\cos t_{III} = -\cos(t_{III} - 180°)$		$\cos t_{II} = -\sin(t_{II} - 90°)$
III		II

				ΔX sin	ΔY cos
Catatan:	kuadran I	di kanan atas,	maka fungsi	+	+
	kuadran II	di kanan bawah,	maka co-fungsi	+	−
	kuadran III	di kiri bawah,	maka fungsi	−	−
	kuadran IV	di kiri atas,	maka co-fungsi	−	+

Co-fungsi ditentukan oleh tanda (+ , −) yang berbeda.

Jikalau kita dapat memilih letak titik *0* sistim koordinat di lapangan, lihat gambar 64, maka titik *0* itu ditentukan sedemikian rupa, sehingga lapangan yang akan dipetakan terletak seluruhnya pada kuadran I.
Dengan begitu semua koordinat menjadi positif.

Contoh: Perhitungan koordinat-koordinat kita lakukan pada suatu segi-empat dengan sisi-sisinya atau sudut-arah berada dalam keempat kuadran menurut gambar 66 berikut:



Gambar 66

Diketahui: koordinat P_1 dengan $x = 1000{,}00$ m; $y = 1000{,}00$ m dan sudut-arah dari P_1 ke $P_2 = t_{12} = 65°31'20''$

Diukur: sisi $d_{12} = 152{,}53$ m, $d_{23} = 152{,}53$ m, $d_{34} = 152{,}53$ m, $d_{41} = 150{,}93$ m dan sudut-sudut:
P_2 : $\beta_{13} = 235°02'50''$
P_3 : $\beta_{24} = 305°41'30''$
P_4 : $\beta_{31} = 233°52'10''$

Dicari: Koordinat-koordinat titik P_2, P_3 dan P_4.

Perhitungan selanjutnya dilakukan dengan kalkulator elektronik:

2.4.2. Penentuan koordinat dari sudut-arah t dan jarak d

a) Dari P_1 ke P_2: $t_{12} = 65°31'20''$ (= Kuadran I + +) $= 65{,}5222°$
$d_{12} = 152.53$ m

$\Delta X_{12} = + d_{12} . \sin t_{12} = 152{,}53 . 0{,}9101 (\sin t_{12})$

$X_1 =$	1 000.000 m
$\Delta X = +$	138.821 m
$X_2 =$	1 138.821 m

$\Delta Y_{12} = + d_{12} . \cos t_{12} = 152{,}53 . 0{,}4143 (\cos t_{12})$

$Y_1 =$	1 000.000 m
$\Delta Y = +$	63.199 m
$Y_2 =$	1 063.199 m

b) Dari P_2 ke P_3: $t_{21} = 245°31'20''$ (sudut-arah berlawanan dari t_{12})
+ sudut $\beta_{13} = 235°02'50''$ (diukur)

$t_{23} = 120°34'10''$ (= kuadran II + − dan co-fungsi)
$= 120{,}5694°$

$d_{23} = 152.53$ m

$\Delta X_{23} = + d_{23} . \sin t_{23} =$
$+ d_{23} . \cos(t_{23} - 90°) = + 152{,}53 . 0{,}8610 (\sin t_{23})$

$X_2 =$	1 138.821 m
$\Delta X = +$	131.330 m
$X_3 =$	1 270.151 m

$\Delta Y_{23} = - d_{23} . \cos t_{23} =$
$- d_{23} . \sin(t_{23} - 90°) = - 152{,}53 . 0{,}5086 (\cos t_{23})$

$Y_2 =$	1 063.199 m
$\Delta Y = -$	77.574 m
$Y_3 =$	985.625 m

c) Dari P_3 ke P_4: $t_{32} = 300°34'10''$ (sudut-arah berlawanan dari t_{23})
$+$ sudut $\beta_{24} = 305°41'30''$ (diukur)

$t_{34} = 246°15'40''$ (= kuadran II — — I = 246,2611°
$d_{34} = 152.53$ m

$\Delta X_{34} = -d_{34} \cdot \sin t_{34} =$
$-d_{34} \cdot \sin(t_{34} - 180°) = -152,53 \cdot 0,9154$ ($\sin t_{34}$)

$X_3 = 1\,270.151$ m
$\Delta X = -\ 139.624$ m
$X_4 = 1\,130.527$ m

$\Delta Y_{34} = -d_{34} \cdot \cos t_{34} =$
$-d_{34} \cdot \cos(t_{34} - 180°) = -152,53 \cdot 0,4026$ ($\cos t_{34}$)

$Y_3 = 985.625$ m
$\Delta Y = -\ 61.404$ m
$Y_4 = 924.221$ m

d) Dari P_4 ke P_1: $t_{43} = 66°15'40''$ (sudut-arah berlawanan dari t_{34})
$+$ sudut $\beta_{31} = 233°52'10''$ (diukur)

$t_{41} = 300°07'50''$ (= kuadran IV — + dan co-fungsi)
$= 300,1306°$
$d_{41} = 150.93$ m

$\Delta X_{41} = +d_{41} \cdot \sin t_{41} =$
$+d_{41} \cdot -\cos(t_{41} - 270°) = -150,93 \cdot 0,5020$ ($\sin t_{41}$)

$X_4 = 1\,130.527$ m
$\Delta X = -\ 130.537$ m
$X_1 = 999.990$ m

$\Delta Y_{41} = +d_{41} \cdot \cos t_{41} =$
$+d_{41} \cdot \sin(t_{41} - 270°) = +150,93.0,5020$($\cos t_{41}$)

$Y_4 = 924.221$ m
$\Delta Y = +\ 75.763$ m
$Y_1 = 999.984$ m

Koordinat terakhir E_1 dan N_1 harus sama _____ dengan koordinat titik P_1 pada permulaan.

2.4.3. Penentuan sudut-arah t dan jarak d dari koordinat

sebagai kebalikan dari 2.4.2. Penentuan koordinat dari sudut-arah *t* dan jarak *d*.

a) Dari P_1 ke P_2:

$X_2 = 1\,138.821$ m $\quad Y_2 = 1\,063.199$m
$-X_1 = -1\,000.000$ m $\quad -Y_1 = -1\,000.000$m (diketahui)

$\Delta X = +\ 138.821$ m $\quad \Delta Y = +\ 63.199$m
(+ + = kuadran II)

$$\tan t_{12} = \frac{X_2 - X_1}{Y_2 - Y_1} = \frac{\Delta X}{\Delta Y} = \frac{138.821}{63.199} = 2.196656 \rightarrow t_{12} = 65.5222°$$

$$d_{12} = \frac{X_2 - X_1}{\sin t_{12}} = \frac{\Delta X}{\sin t_{12}} = \frac{138.821}{0.910122} = 152.53 \text{ m}$$

$$= \frac{Y_2 - Y_1}{\cos t_{12}} = \frac{\Delta Y}{\cos t_{12}} = \frac{63.199}{0.414341} = 152.53 \text{ m}$$

b) Dari P_2 ke P_3:

$X_3 = 1\,270.151$ m $\quad Y_3 = 985.625$ m
$-X_2 = -1\,138.821$ m $\quad -Y_2 = -1\,063.199$ m (diketahui)

$\Delta X = +\ 131.330$ m $\quad \Delta Y = -\ 77.574$ m
(+ — = kuadran II dan co-fungsi dgn + 90°)

$$\tan t_{23} = \frac{Y_3 - Y_2}{X_3 - X_2} = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{77.574}{131.330} = 0.590680 \rightarrow t_{23} = 30.5694°$$
$$+\ 90.0000°$$
$$t_{23} = 120.5694°$$

$$d_{23} = \frac{X_3 - X_2}{\sin t_{23}} = \frac{\Delta X}{\sin t_{23}} = \frac{131.330}{0.861014} = 152.53 \text{ m}$$

$$= \frac{Y_3 - Y_2}{\cos t_{23}} = \frac{\Delta Y}{\cos t_{23}} = \frac{77.574}{0.508582} = 152.53 \text{ m}$$

c) Dari P_3 ke P_4:

$X_4 = 1\,130.527$ m $\quad Y_4 = 924.221$ m
$-X_3 = -1\,270.151$ m $\quad -Y_3 = -\ 985.625$ m (diketahui)

$\Delta X = -\ 139.624$ m $\quad \Delta Y = -\ 61.404$ m
(— — = kuadran III dgn + 180°)

$$\tan t_{34} = \frac{X_4 - X_3}{Y_4 - Y_3} = \frac{\Delta X}{\Delta Y} = \frac{139.624}{61.404} = 2.273858 \rightarrow t_{34} = 66.2611°$$
$$+\ 180.0000°$$
$$t_{34} = 246.2611°$$

$$d_{34} = \frac{X_4 - X_3}{\sin t_{34}} = \frac{\Delta X}{\sin t_{34}} = \frac{139.624}{0.915389} = 152,53 \text{ m}$$

$$= \frac{Y_4 - Y_3}{\cos t_{34}} = \frac{\Delta Y}{\cos t_{34}} = \frac{61.404}{0.402569} = 152,53 \text{ m}$$

d) Dari P_4 ke P_1: $X_1 = 1\,000.000$ m $Y_1 = 1\,000.000$ m (diketahui)
$-X_4 = -1\,130.527$ m $-Y_4 = -924.221$ m
$\Delta X = -130.527$ m $\Delta Y = +75.779$ m
(− + = kuadran IV dan co-fungsi dgn. + 270°)

$$\tan t_{41} = \frac{Y_1 - Y_4}{X_1 - X_4} = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{75.763}{130.537} = 0.580394 \rightarrow t_{41} = 30.1306°$$
$$+ 270.0000°$$
$$t_{41} = 300.1306°$$

$$d_{41} = \frac{X_1 - X_4}{\sin t_{41}} = \frac{\Delta X}{\sin t_{41}} = \frac{130.537}{0.864883} = 150{,}93 \text{ m}$$

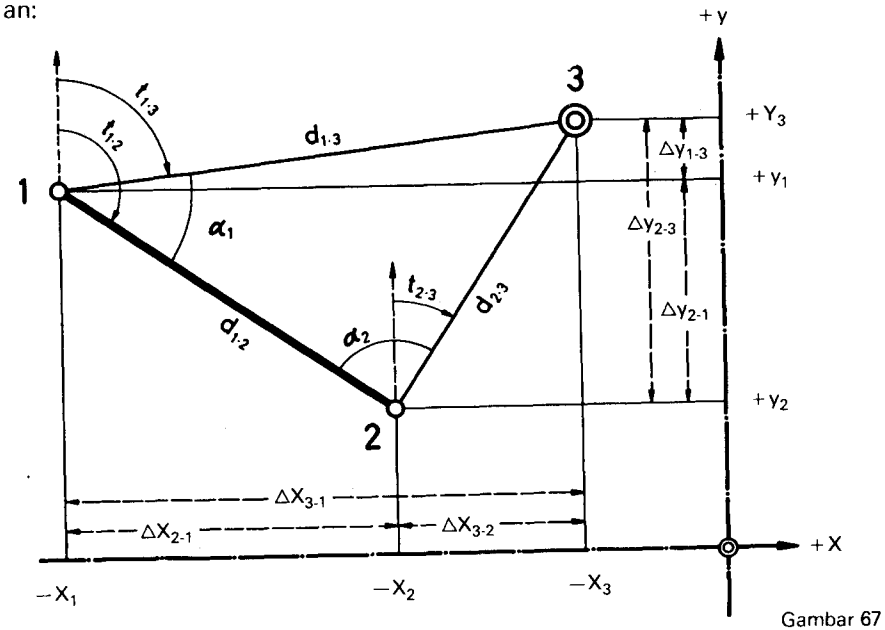
$$= \frac{Y_1 - Y_4}{\cos t_{41}} = \frac{\Delta Y}{\cos t_{41}} = \frac{75.763}{0.501973} = 150{,}93 \text{ m}$$

Setiap orang yang belum menguasai ilmu ukur tanah harus memahami dengan baik dahulu hubungan-hubungan antara koordinat-koordinat, sudut-arah dan jarak. Kemudian harus diketahui ketentuan tanda (+, −) pada koordinat-koordinat dan fungsi sudut pada ke-empat kuadran.

Hubungan-hubungan ini dan ketentuan tanda (+, −) merupakan pengetahuan dasar pada perhitungan triangulasi dsb.

2.4.4. Contoh-contoh

Perhatikan gambar 67 berikut sebagai dasar contoh-contoh perhitungan:



Gambar 67

Titik P_3 (3) yang koordinat-koordinatnya diketahui harus dicari di lapangan dan diberi pancang dari kayu. Titik P_1 (1) dan P_2 (2) sudah kita ketahui dan titik-titik itu sudah diberi pancang dari kayu di lapangan. Kemudian kita menghitung sudut-arah t (sudut α) dan jarak $d$dengan bantuan koordinat-koordinat dan di lapangan dengan teodolit dan band ukur. Kita mengukur dari titik P_1 dan kemudian dari titik P_2 sebagai kontrol.

Diketahui: $X_1 = -361.15$ m $Y_1 = 198.20$ m Dicari: α_1, d_{13} dan α_2, d_{23}
$X_2 = -180.31$ m $Y_2 = 81.15$ m
$X_3 = -80.51$ m $Y_3 = 232.43$ m

Penyelesaian:

a) Sudut yang dicari terdapat dari pengurangan sudut — sudut arah:

$\alpha_1 = t_{12} - t_{13}$ atau $\alpha_2 = t_{23} - t_{21}$

$$\tan t_{12} = \frac{X_2 - X_1}{Y_2 - Y_1} = \frac{+180.84}{-117.05}$$

(+ − = kanan bawah, kuadran II dan co-fungsi dgn + 90°)

$$\tan t_{12} = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{117.05}{180.84} = 0.6472572 \rightarrow t_{12} = 32.9133°$$

melihat pada co-fungsi

sudut arah berlawanan $t_{21} = t_{12} \pm 180°$

$$\begin{array}{rr} & 90.0000° \\ t_{12} = & 32.9133° \\ & 122\,9133° \\ + & 180.0000° \\ = & 302.9733° \end{array}$$

$$\tan t_{13} = \frac{X_3 - X_1}{Y_3 - Y_1} = \frac{+280.64}{34.23}$$ + + = kanan atas, kuadran I)

$$\tan t_{13} = \frac{\Delta X}{\Delta Y} = \frac{280.64}{34.23} = 8.198656 \rightarrow t_{13} = 83.0459°$$

$$\begin{array}{rr} t_{12} = & 122.9133° \\ -t_{13} = & -\ 83.0459° \\ \hline \alpha_1 = & 39.8674° \end{array}$$

$$\tan t_{23} = \frac{X_3 - X_2}{Y_3 - Y_2} = \frac{+\ 99.80}{+151.28}$$ (+ + = kanan atas kuadran I)

$$\tan t_{23} = \frac{\Delta X}{\Delta Y} = \frac{99.80}{151.28} = 0.659704 \rightarrow t_{23} = 33.4130°$$

$$\begin{array}{rr} t_{23} = & 33.4130° \\ -t_{21} = & -302.9133° \\ \hline \alpha_2 = & 90.4997° \end{array}$$

b) Penentuan jarak *d*:

$$d_{13} = \frac{X_3 - X_1}{\sin t_{13}} = \frac{Y_3 - Y_1}{\cos t_{13}}$$

$$d_{13} = \frac{\Delta X}{\sin t_{13}} = \frac{280.64}{0.992643} = 282.72 \text{ m}$$ (kontrol)

$$d_{13} = \frac{\Delta Y}{\cos t_{13}} = \frac{34.23}{0.121074} = 282.72 \text{ m}$$

$$d_{23} = \frac{X_3 - X_2}{\sin t_{23}} = \frac{Y_3 - Y_2}{\cos t_{23}}$$

$$d_{23} = \frac{\Delta X}{\sin t_{23}} = \frac{99.80}{0.550670} = 181.23 \text{ m}$$

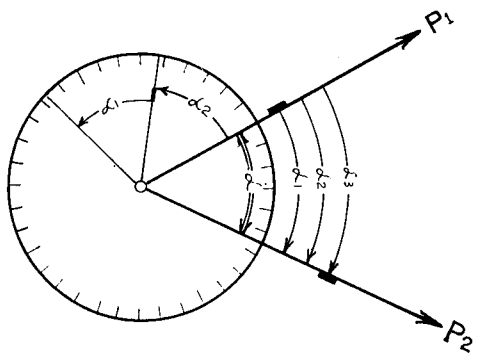
$$d_{23} = \frac{\Delta Y}{\cos t_{23}} = \frac{151.20}{0.834723} = 181.23 \text{ m}$$ (kontrol)

c) Nilai penyipatan akhirnya ialah:
pengukuran dari P_1: $\alpha_1 = 39°52'03''$ dan $d_{13} = 282.72$ m
pengukuran dari P_2: $\alpha_2 = 90°29'59''$ dan $d_{23} = 181.23$ m

2.5. Pengukuran sudut-sudut

Supaya kita mendapatkan nilai penyipatan sudut seteliti mungkin, kita pergunakan beberapa metode mengukur sudut, sesuai dengan alat ukur sudut yang digunakan dan dengan ketelitian yang diperlukan.

2.5.1. Metode mengukur sudut cara repetisi



Gambar 68

Pada metode mengukur sudut cara repetisi kita gunakan teodolit-teodolit dengan sumbu rangkap (misalnya teodolit Wild *T*1) dan dengan klem lingkaran (misalnya teodolit Wild *T*16 atau *RDS*). Sudut α yang hendak kita ukur, diukur pada lingkaran berskala *n*-kali tanpa mencatat pembacaan antaranya seperti terlihat pada gambar 68 di atas. Kita membidik sasaran kiri P_1, terdapat terdapat a_1. Kita lepaskan klem penyetel putaran dan bidik sasaran kanan P_2 dan pancangkan klem tadi. Jikalau perlu, kita sekarang baca a_2' sebagai kontrol sudut α. Sekarang kita lepaskan Klem lingkaran, putar teropong dalam jurusan jarum jam, bidik sasaran kiri P_1 sekali lagi dan matikan klem lingkaran sesudah kita melepaskan klem penyetel putaran kita membidik sasaran kanan P_2 (repetisi ke-2) dan seterusnya. Metode ini kita lakukan n-kali dan akhirnya pada sasaran kanan P_2 kita membaca lingkaran a_2. Dengan melakukan peletakan teropong LB, lihat gambar 61, kita mengulangi semua sekali lagi dengan urutan terbalik dimulai pada sasaran kanan P_2. Sudut α dapat dihitung sebagai $\alpha = (a_2 - a_1)$: n. Karena nilai derajat sudah kita ketahui dari pembacaan kontrol kita dapat mengetahui apakah sebelum dibagi *n* kita harus menjumlahkan $(a_2 - a_1)$ dengan 360°, 720°

dsb. Jikalau sudut α harus direpetisi n' kali kita mengubah pembacaan pertama sebanyak 180°:n' .
Dengan menggunakan metode mengukur sudut cara repetisi kita dapat meningkatkan ketelitian sebuah alat ukur sudut sebanyak limakali. Keuntungan metode ini terutama terletak pada pengukuran sudut paralaksis.
Contoh: Alat ukur sudut yang digunakan: skala-teodolit Wild *T16* dengan metode repetisi.
Alat penyipat ruang: *T16* — 69383
Tempat peletakan alat ukur sudut: Menara X
Tanggal: 16-6-61; sedikit berkabut; yang membaca: Kzl

Sasaran	Peletakan teropong	Pembacaan ° '	rata-rata B + [B '	sudut 4-kali ° '	sudut tunggal ° '
1	B	0 30.7	30.6	174 49.1	133 42.3
2	B	175 19.6	19.7	+360	
2	LB	19.9			
1	LB	30.5			
1	B	45 17.9	17.7	174 49.3	133 42.3
2	B	220 06.8	07.0	+360	
2	LB	07.2			
1	LB	17.4			
1	B	90 27.1	27.0	174 49.4	133 42.4
2	B	265 16.1	16.4	+360	
2	LB	16.6			
1	LB	27.0			
1	B	135 26.9	26.8	174 49.2	133 42.3
2	B	310 16.0	16.0	+360	
2	LB	16.1			
1	LB	26.7			

Sudut 1-2 rata-rata = 133°42,3'
= 133°42' 18" ±2"

2.5.2. Metode mengukur sudut cara reiterasi

Tujuan metode mengukur sudut cara reiterasi sebenarnya sama dengan tujuan metode mengukur sudut cara repetisi. Metode dengan pengukuran tunggal biasanya dilakukan pada teodolit dengan sumbu tunggal dan dengan lingkaran yang dapat disetel (misalnya teodolit Wild T2 dan Wild T3). Kita juga menyipat sudut α antara P_1 dan P_2 sebanyak n- kali,

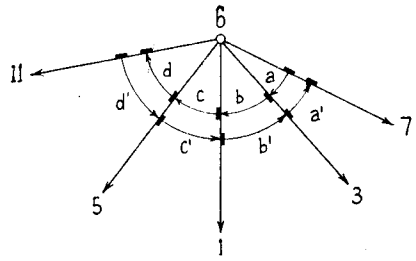
ukan tetapi pembacaan lingkaran dilakukan sesudah tiap-tiap pembidikan. Kalau kita membidik misalnya sasaran kiri P_1 untuk ke-duakali, kita setel lingkaran berskala sedemikian rupa, sehingga nilai pada sasaran kanan P_2 menjadi permulaan pembacaan sudut untuk ke-duakalinya.
Metode reiterasi maupun repetisi mengurangi pengaruh kesalahan pada skala lingkaran.
Contoh: Alat ukur sudut yang digunakan: teodolit Wild T3 dengan metode reiterasi:

Sasaran	Peletakan teropong B ° ' "	LB ° ' "	rata-rata B + LB ' "	sudut yang sebenarnya ° ' "
1	0 00 12.0	00 11.6		
	12.1	11.7		
	0 00 24.1	00 23.3	00 23.7	
2	133 42 22.2	42 21.8		
	22.1	21.5		
	133 42 44.3	42 43.3	42 43.8	133 42 20.1
1	133 42 24.5	42 24.5		
	25.0	24.2		
	133 42 49.5	42 48.7	42 49.1	
2	267 24 34.0	24 33.6		
	34.4	34.2		
	267 25 08.4	25 07.8	25 08.1	155 42 19.0
1	267 24 35.4	24 34.7		
	35.2	34.8		
	267 25 10.6	25 09.5	25 10.0	
2	41 06 45.5	06 45.0		
	45.5	45.4		
	41 07 31.0	07 30.4	07 30.7	133 42 20.7
1	41 08 44.8	06 43.3		
	44.8	43.1		
	41 07 29.6	07 26.4	07 28.0	
2	174 48 54.4	48 54.1		
	54.5	53.3		
	174 49 48.9	49 47.4	49 48.2	133 42 20.2

Sudut 1-2 rata-rata: 133°42' 20,0" ±0,4"

Alat ukur sudut: *T3* — 58464
Tempat peletakan alat ukur sudut: Menara *X*
Tanggal: 7-6-61; hujan rintik-rintik; yang membaca: Kzl

2.5.3. Metode dengan mengukur jurusan



Gambar 69

Metode dengan mengukur jurusan biasanya digunakan pada triangulasi kwarter. Pada titik *6* di gambar 92 kita bidik misalnya 5 arah (4 sudut). Pada metode dengan mengukur jurusan kita baca lingkaran berskala berturut-turut pada garis bidik sasaran masing-masing. Sudut masing-masing kemudian kita dapatkan di antara dua garis bidik. Kita lakukan metode dengan mengukur jurusan seperti berikut: kita memilih suatu sasaran sebagai titik permulaan (misalnya titik *7*) menurut gambar 69 di atas. Dengan meletakkan teropong pada kedudukan B (lihat gambar 61) kita membidik semua sasaran berturut-turut dalam arah jarum jam, dan kita catat tiap-tiap nilai pada lingkaran berskala. Sesudah kita mencatat sasaran terakhir (*11*) kita putar letak teropong ke kedudukan LB dan mulai dengan pembacaan pada titik *11* kembali ke titik *7*. Penyipatan ini menjadi suatu seri. Menurut ketelitian yang diinginkan seri ini diulangi *n*-kali dengan mengubah nilai lingkaran berskala pada tiap-tiap permulaan sebesar $180°:n$. Jikalau banyaknya sasaran lebih dari 5 atau 6, sebaiknya kita bagi atas seri-seri dengan hanya 4 atau 5 sasaran per seri. Jikalau kita lakukan beberapa seri dari satu titik kedudukan alat ukur sudut sebaiknya pada seri masing-masing sebagai titik/sasaran permulaan dipilih sasaran yang sama.

Contoh: Alat ukur sudut yang digunakan: teodolit universil Wild *T2* dengan metode dengan mengukur jurusan.
Alat ukur sudut : T2 — .....
Tempat meletakkan alat ukur sudut: Titik *6* (lihat gambar 92)
Tanggal: : yang membaca:

Contoh: Alat ukur sudut yang digunakan: teodolit universil Wild *T2* dengan metode dengan mengukur jurusan.
Alat ukur sudut : *T2* — .....
Tempat meletakkan alat ukur sudut: Titik *6* (lihat gambar 92)
Tanggal: ; : yang membaca:

Titik sasaran	Peletakan B ° ′ ″	teropong LB ° ′ ″	rata-rata tunggal ° ′ ″	rata-rata yang direduksikan ° ′ ″	V′	V	VV
7	0 00 06	180 00 09	0 00 08	0 00 00	0	+1	1
3	21 46 29	201 46 23	21 26 31	21 46 23	−2	−1	1
1	63 17 21	243 17 26	63 17 24	63 17 16	0	+1	1
5	100 24 01	280 24 05	100 24 03	100 23 55	−2	−1	1
11	142 10 53	322 10 48	142 10 50	142 10 42	−2	−1	1
					−6	−1	5
7	45 00 08	225 00 13	45 00 10	0 00 00	0	−1	1
3	66 46 26	246 46 35	66 26 30	21 46 20	+1	0	0
1	108 17 28	288 17 23	108 17 25	63 17 15	+1	0	0
5	145 24 00	325 24 00	145 24 00	100 23 50	+3	+2	4
11	187 10 55	7 10 46	187 10 50	142 10 40	0	−1	1
					+5	0	6
7	90 00 07	270 00 10	90 00 08	0 00 00	0	+1	1
3	111 46 33	291 46 28	111 46 30	21 46 22	−1	0	0
1	153 17 24	333 17 26	153 17 25	63 17 17	−1	0	0
5	190 24 03	10 23 58	190 24 00	100 23 52	+1	+2	4
11	232 10 48	52 10 51	232 10 50	142 10 42	−2	−1	1
					−3	−2	6
7	135 00 10	315 00 22	135 00 16	0 00 00	0	−1	1
3	156 46 38	336 46 34	156 46 36	21 46 20	+1	0	0
1	198 17 29	18 17 36	198 17 32	63 17 16	0	−1	1
5	235 24 11	55 24 07	235 24 09	100 23 53	0	−1	1
11	277 10 51	97 10 54	277 10 53	142 10 37	+3	+2	4
					+4	−1	7
						[vv] =	24

Titik sasaran	rata-rata seluruhnya ° ′ ″
7	0 00 00
3	21 46 21
1	63 17 16
5	100 23 53
11	142 10 40

Keterangan:

rata-rata tunggal = pembacaan $\frac{B + LB}{2}$

rata-rata yang direduksikan = rata-rata tunggal dikurangi rata-rata tunggal sasaran pertama: 3-7, 1-7, 5-7 dan 11-7.

rata-rata seluruhnya = rata-rata aritmetis dari semua 4 seri.

Dalam hal pengamatan terhadap s jurusan dalam n seri maka salah menengah untuk satu pengamatan adalah:

$$m \pm \sqrt{\frac{[vv]}{(n-1)(s-1)}}$$

dan kemudian kesalahan rata-rata kuadratis oleh n seri pada jurusan sasaran yang sudah di-rata-rata-kan kita hitung seperti berikut:

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)(s-1)}}$$

Pada perhitungan kesalahan v kita tentukan pertama v' dari tiap-tiap seri dengan v' = rata-rata seluruh dikurangi dengan rata-rata seri. Karena sasaran pertama ($v'_0 = 0$) juga tidak mungkin teliti betul kita mengoreksinya dengan perbaikan serinya yang negatif. Pada seri pertama dapat kita tentukan:

$$v_0 = -\frac{[v']}{s} = -\frac{-6}{5} = +1.2 \approx +1$$

Dengan nilai ini kita koreksi semua v'. Sebagai kontrol kita perhatikan, bahwa jumlah $[v] = 0$. Dari nilai v kita dapat menghitung $v^2 = [vv]$. Kemudian pada contoh ini dapat kita tentukan:

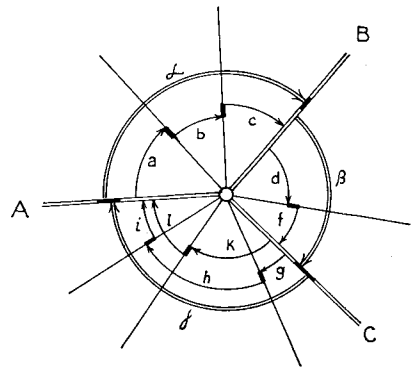
$$m = \pm \sqrt{\frac{24}{3.4}} = \pm \sqrt{2} = \pm 1.4''$$

dan selanjutnya,

$$M = \pm \sqrt{\frac{24}{4.3.4}} = \pm \frac{1.4''}{\sqrt{4}} = \pm 0.7''$$

sebagai kesalahan rata-rata kuadratis dari 4 seri pada jurusan sasaran yang sudah di-rata-rata-kan.

2.5.4. Metode dengan mengukur sektor-sektor



Gambar 70

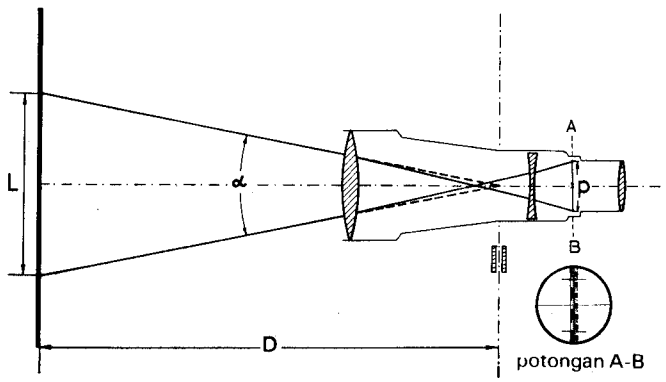
Metode dengan mengukur sektor-sektor umumnya kita lakukan pada jaringan-jaringan triangulasi. Pada suatu titik kedudukan alat penyipat ruang kita cari 3 sampai 4 titik tertentu yang terbagi sekeliling titik pertama itu. Dengan menggunakan metode reiterasi kita mengukur sudut masing-masing (α, β, γ) pada gambar 70 di atas. Jumlah semua sudut ($\alpha + \beta + \gamma$) harus 360°. Kesalahan yang timbul dapat dibagi atas sudut-sudut kecil, misalnya g, h, i, k dan l pada gambar 70 di atas, dengan melakukan metode mengukur jurusan. Jumlah sudut ($g + h + i$) dan ($l + k$) harus menjadi γ dsb.

2.6. Pengukuran jarak secara optis

Pada pengukuran jarak secara optis dapat kita tentukan suatu jarak atas dasar sudut paralaktis dan suatu rambu dasar. Kita membaginya atas dua cara. Cara pertama menggunakan sudut paralaktis tertentu dan kita membaca nilai pada mistar-dasar pada sasaran. Cara kedua menggunakan suatu rambu-dasar dengan panjang tertentu dan kita mengukur sudut paraltis. Rambu dasar bisa diletakkan secara horisontal atau vertikal. Pengukuran jarak secara optis pada saat ini sudah agak jarang digunakan karena adanya cara elektronis (misalnya Wild Distomat DI 3S atau Wild DI 10 Distomat).

2.6.1. Penggunaan rambu yang vertikal

a) Asas Reichenbach

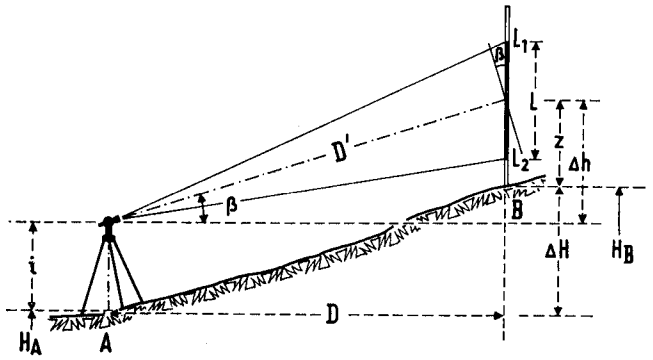


Gambar 71

Asas Reichenbach didasarkan atas sudut paralaktis α yang ditentukan. Sudut ini ditentukan oleh **dua benang stadia** menurut Reichenbach yang diets pada pelat kaca dengan benang-silang, seperti terlihat pada gambar 71 di atas. Benang stadia atas dan bawah memotong sebagian rambu ukur sepanjang L. Jikalau garis bidik **horisontal** menurut gambar 71 kita dapat menentukan syarat berikut:

$$D = \frac{L}{2} . \cot \frac{\alpha}{2} = L.1/2 \cot \frac{\alpha}{2}.$$

Jarak p antara ke-dua benang stadia kemudian dipilih sedemikian rupa, sehingga bagian rumus $1/2 \cot \alpha/2$ menjadi 100 dan rumus (1) di atas dapat disederhanakan sebagai:



Gambar 72

Jikalau kita kemudian membidik dengan teropong condong sebesar β ke suatu rambu ukur yang sejajar anting kita harus memperhatikan gambar 72 di atas. Rambu ukur sekarang tidak lagi diletakkan siku-siku pada garis bidik, melainkan dengan kemiringan β. Pembacaan rambu ukur L selanjutnya harus kita proyeksi-kan siku-siku pada garis bidik. Kita dapatkan pembacaan rambu ukur yang direduksikan L'' sebagai $L' = L . \cos \beta$. Atas dasar rumus ini dapat kita tentukan jarak miring menurut rumus berikut:

$$D' = L' . 100 = 100 . L . \cos \beta. \qquad (3)$$

Jarak horisontal yang dicari kemudian menjadi proyeksi jarak miring D' oleh sudut β dan dapat ditentukan seperti berikut:

$$D = D' . \cos\beta = 100 . L . \cos^2\beta. \qquad (4)$$

Beda tinggi selanjutnya menjadi:

$$\Delta h = D' . \sin\beta \qquad (5)$$

Atau berdasarkan pada rumus (3) tadi:

$$\Delta H = 100\, L . \sin\beta . \cos\beta \qquad (6)$$

Beda tinggi antara titik A dan titik B (ΔH) kemudian kita tentukan sebagai:

$$\Delta H = + 1 + \Delta h - z = \Delta h + (1 - z).$$

dengan i tingginya alat ukur sudut dan z tingginya sasaran. Untuk perhitungan ini (reduksi untuk menentukan jarak horisontal dan penentuan beda tinggi) dapat kita gunakan tabel tachimetri atau mistar hitung tachimetri yang menentukan D dan Δh atas dasar sudut β dan pembacaan rambu ukur L.

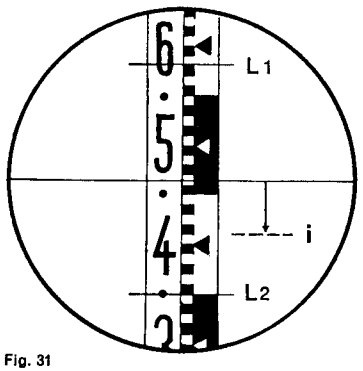


Fig. 31

Gambar 73

Tachimetri pada pengukuran sudut kita lakukan berbeda dengan tachimetri pada penyipatan datar (lihat bab 1.6.3.) seperti berikut:

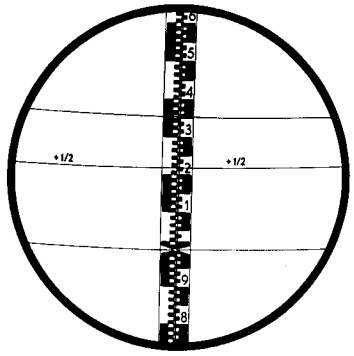
1. Mengukur tingginya alat ukur sudut di atas titik A (i = 1,46 m)
2. Benang-silang yang vertikal dipasang pada pertengahan rambu ukur.

3. Menurunkan atau menaikkan teropong demikian rupa, sehingga benang stadia bawah jatuh pada satu garis desimeter pada rambu ukur (pada gambar 73 di atas 1,40 m).
4. Membaca rambu ukur pada benang stadia atas (pada contoh ini 1,631 m) dan menentukan hasil pengurangan *L* dalam cm (pada contoh ini 23,1 cm).
5. Membidik dengan benang-silang yang horisontal tinggi alat ukur sudut pada rambu ukur (i = 1,46 m) dan sesudah diatur nivo indeks sudut β terbaca.

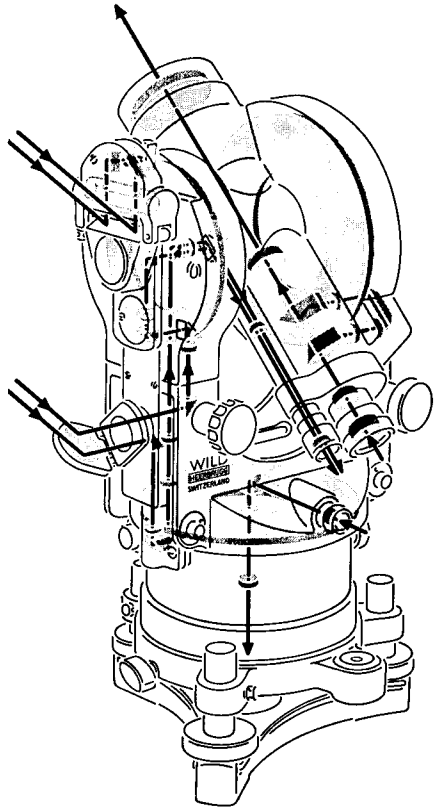
Jikalau garis bidik menjadi curam sekali kita harus memperhatikan dengan khusus, bahwa rambu ukur didirikan sejajar anting betul-betul.

b) Alat ukur sudut dengan reduksi automatis

Arah sinar cahaya pada diagram-tachimeter Wild *RDS*



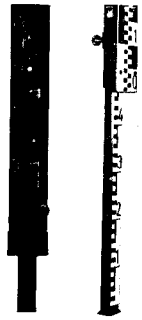
Gambar 74



Gambar 75

Tachimetri pada pengukuran sudut dilakukan di lapangan menurut peraturan tsb. di atas membutuhkan sesudahnya banyak pekerjaan perhitungan di kantor untuk menentukan jarak dan beda tinggi yang sebenarnya. Hal ini menghambat kelancaran pekerjaan dan merupakan suatu sumber kesalahan. Sebaiknya jarak antara dua benang stadia tidak menjadi jarak tetap, melainkan berbeda menurut kecuraman teropong sedemikian rupa, sehingga pembacaan rambu ukur langsung menjadi jarak dan beda tinggi yang sebenarnya seperti ditentukan pada rumus (4) dan rumus (6).

Diagram-tachimeter Wild RDS dilengkapi dengan suatu sistim prisma sehingga bayangan rambu ukur pada objektif diproyeksikan pada suatu lingkaran kaca dengan diagram yang digores dan yang ditempatkan pada kaki penyangga kanan. Dengan penambahan prisma dan kaca pembesar kita akan melihat pada okuler suatu bayangan rambu ukur yang berdiri, dan diagram yang diproyeksikan menentukan suatu garis dasar yang juga menjadi akan melihat pada okuler suatu bayangan rambu ukur yang berdiri, dan diagram yang diproyeksikan menentukan suatu garis dasar yang juga menjadi benang stadia bawah seperti terlihat pada gambar 74 di atas. Garis dasar ini kita setel, sehingga jatuh pada suatu garis desimeter atau titik *0* pada suatu rambu tachimeter yang khusus (lihat gambar 76 berikut). Pada benang stadia atas kita membaca rambu ukur. Nilainya dikalikan dengan 100 (cm = m) menentukan jarak *D* yang sebenarnya (horisontal). Kemudian lihat suatu garis penentu tingginya diantara garis dasar dan benang stadia atas. Konstante pengali pada garis penentu tingginya mengubah menurut kecuraman menjadi 10, 20, 50 atau pada $\beta > 24{,}5$ 100 maka pada lereng yang landai ketelitian menjadi lebih besar. Untuk mempermudah perhitungan ini garis penentu tingginya diberi faktor langsung dengan tanda (+, —) sebesar 0,1; 0,2; 1/2 dan 1 (cm = m). Pada sudut perbatasan dalam bayangan kita dapatkan dua garis penentu tingginya dan pada umumnya kita menggunakan yang lebih atas.



Gambar 76

Untuk menyederhanakan perhitungan di lapangan sebaiknya kita menggunakan suatu rambu tachimeter dengan kakinya yang dapat disetel menurut tingginya alat ukur sudut *i*. Misalnya pada suatu tingginya alat ukur sudut i = 1,46 m. Kaki rambu tachimeter ditarik sebanyak 46 cm agar kita dapat membaca beda tinggi sebenarnya secara langsung seperti dilihat pada gambar 76 di atas.

Di samping lingkaran horisontal berskala diagram-tachimeter Wild RDS masih dilengkapi dengan lingkaran vertikal agar beda tinggi dapat juga ditentukan secara trigonometris jikalau jarak pembidik terlalu jauh.

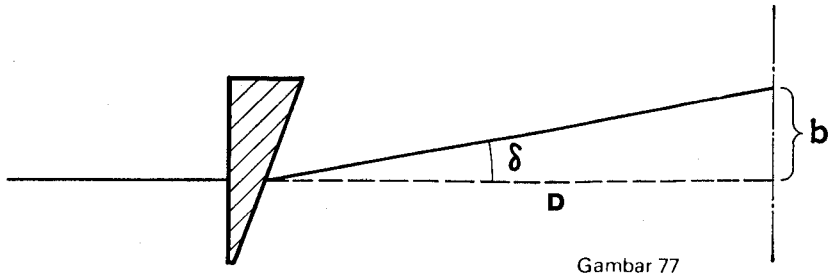
Ketelitian pengukuran jarak dengan benang stadia menurut Reichenbach atau dengan diagram-tachimeter menjadi sekitar 1:1000 yang cukup bagi pekerjaan topografi-tachimetri. Ketelitian ini bukan dibatasi oleh alat ukur sudut, melainkan oleh suasana. Karena sinar-cahaya yang jatuh pada garis dasar berada lebih dekat pada bumi daripada sinar-cahaya yang jatuh pada garis penentu jarak atas akan dipantulkan lebih banyak oleh perubahan cuaca dekat permukaan bumi. Walaupun mistar dibaca dengan teliti hasil jarak yang diukur selalu menjadi lebih pendek daripada jarak yang sebenarnya (kesalahan sistimatik).

Atas dasar konstante pengalian yang kecil penentuan beda tinggi biasanya lebih teliti daripada penentuan jarak yang mengalami pengaruh refraksi (melengkungnya sinar-cahaya) permukaan bumi (differensialrefraksi).

2.6.2. Penggunaan rambu yang horisontal

Untuk menghindarkan ke-tidak-samaan keadaan suasana pada dua sinar-cahaya atas dan bawah, sebaiknya kita menggunakan rambu yang horisontal. Pada prakteknya dapat kita lakukan pengukuran jarak ini menurut dua cara, yaitu: penggunaan baji optis Richard (sudut paralaktis yang tetap) atau dengan menggunakan rambu yang horisontal dengan ukuran tertentu pada sasaran.

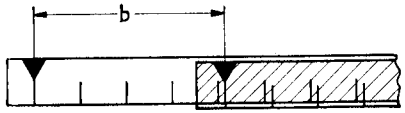
a) Baji optis Richard



Gambar 77

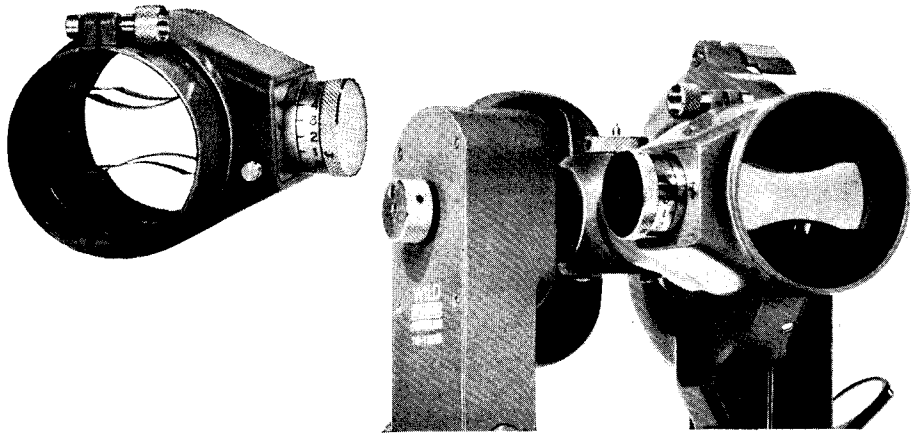
Seperti sudah diketahui, suatu baji optis memantulkan suatu berkas-sinar menurut sudut tertentu. Kita membentuk baji optis demikian rupa, sehingga sudut pemantulan δ mengakibatkan suatu pergeseran ke samping sebesar *b* yang menjadi satu perseratusan (1/100) dari jarak *D* seperti terlihat pada gambar 77 di atas.

$$\tan\delta = \frac{b}{D} = \frac{1}{100};\ \delta = 34'\,22.6''$$

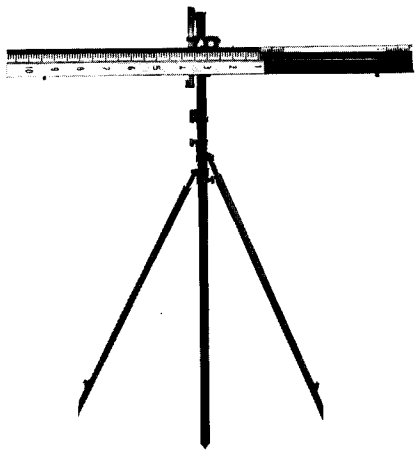


Gambar 78

Jikalau baji optis itu menyelubungi sebagian saja dari objektif, misalnya separuh, maka berkas sinar pada bagian yang tidak diselubungi tidak dipantulkan. Jikalau kita sekarang membidik suatu rambu ukur horisontal yang siku pada garis bidik kita memperoleh pada objektif dua bayangan yang tercampur. Pada bayangan ini suatu bayangan tergeser ke samping 1:100 dari jarak rambu yang horisontal — alat ukur sudut terhadap bayangan biasa. Pergeseran ini dapat kita baca pada rambu seperti terlihat pada gambar 78 di atas. Pembacaan ini tidak terganggu berbeda dengan benang stadia menurut Reichenbach yang terganggu oleh paralaks pada benang- silang yang mungkin masih ada. Juga pengaruh refraksi-vertikal ditiadakan, jikalau kita memperhatikan refraksi-vertikal ditiadakan, jikalau kita memperhatikan refraksi-samping pada garis bidik yang sejajar dengan dinding yang dekat dsb.

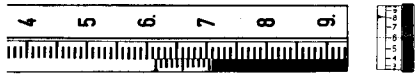


Gambar 80

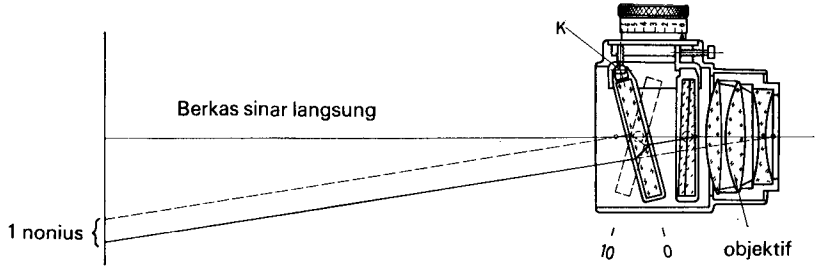


Gambar 81

Prinsip pengukuran jarak ini dahulu digunakan pada **baji optis Wild DM 1** sebagai suatu pelengkapan pada teodolit Wild T 1, T 16 dan T 2 dan yang pada saat ini sudah tidak lagi diproduksi. Kokot betina baji optis digeser dan diikatkan pada objektif teropong seperti dilihat pada gambar 79 dan 80 di atas. Pada bagian okuler teropong itu dipasang suatu pengimbang. Rambu ukur horisontal dipasang pada suatu steling yang tingginya dapat disetel betul-betul pada tinggi alat ukur sudut seperti terlihat pada gambar 81 di atas. Steling itu dapat didirikan sejajar anting dengan bantuan suatu nivo katak. Rambu yang horisontal kemudian disetel siku-siku pada garis bidik dengan menggunakan sebuah vizier (diopter).



Gambar 82



Gambar 83

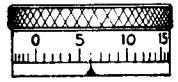
Sebelum mengukur jarak, baji optis diatur horisontal demikian rupa, sehingga suatu putaran kecil pada objektif menggeser dua bayangan rambu horisontal pada suatu garis lurus. Supaya dua bayangan yang tercampur tidak

mengganggu pembacaan rambu, maka rambu ukur hanya berskala pada bagian bawah saja. Garis nol dan nonius pada bagian atas dengan sisa-sisa lainnya dicat hitam untuk menghindarkan gangguan pembacaan seperti terlihat pada gambar 81 di atas. Dengan mengganti mal pembacaan seperti terlihat pada gambar 78, rambu ukur ini menggunakan nonius s/d jarak 100 m dan suatu konstante penambahan + 50 pada jarak-jarak antara 60 s/d 150 m. Lihat gambar 81. Dengan garis nolnya, maka pada rambu hanya terbaca meterannya. Desimeter dan sentimeter didapat dengan suatu mikrometer kaca-datar-plan-paralel seperti terlihat pada gambar 83 di atas. Dengan memutar kaca-datar-plan-paralel di muka baji optis, bayangan yang dipantulkan dapat digeser terhadap bayangan langsung sebanyak satu desimeter jarak horisontal. Dengan memutar mikrometer kita dapat meng-koinsidensi-kan suatu garis dari skala nonius dengan suatu garis dari skala mistar seperti diterapkan pada gambar 82 di atas. Garis nonius menentukan desimeter dan pada skala mikrometer dapat dibaca sentimeter.
Pada gambar 82 di atas dapat diperhatikan contoh berikut:

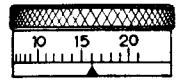
Meter (pada garis nol)	61,00 m
Desimeter (pada garis skala nonius)	0,50 m
Sentimeter (pada skala mikrometer)	0,08 m
total jarak	61,58 m

Jarak ini sebenarnya menentukan jarak dari baji optis ke rambu ukur. Konstante penambahan sebagai jarak dari baji optis ke sumbu pertama alat ukur sudut sudah diperhatikan oleh suatu pergeseran nonius terhadap skala rambu. Pada pengukuran curam dengan sudut β kita dapatkan jarak D' yang dikalikan dengan $\cos\beta$ menghasilkan jarak horisontal D dan beda tinggi $\Delta h'$ dikalikan $\sin\beta$ menghasilkan beda tinggi Δh yang sebenarnya.

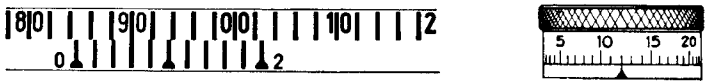
b) Tachimeter dengan reduksi automatis



Pembacaan jarak horisontal: 12,46 m
(pada rambu = 12,00 m; pada nonius 0,40 m; pada mikrometer 0,06 m)



Pembacaan jarak horisontal: 75,96 m
(pada rambu = 4,00 m; pada nonius 71,80 m; pada mikrometer 0,16 m)



Pembacaan beda tinggi: — 15,28 m
(pada rambu merah 84,00 m; pada nonius 0,60 m; pada mikrometer 0,12 m
= 84,72 m — 100,00 m = — 15,28 m)

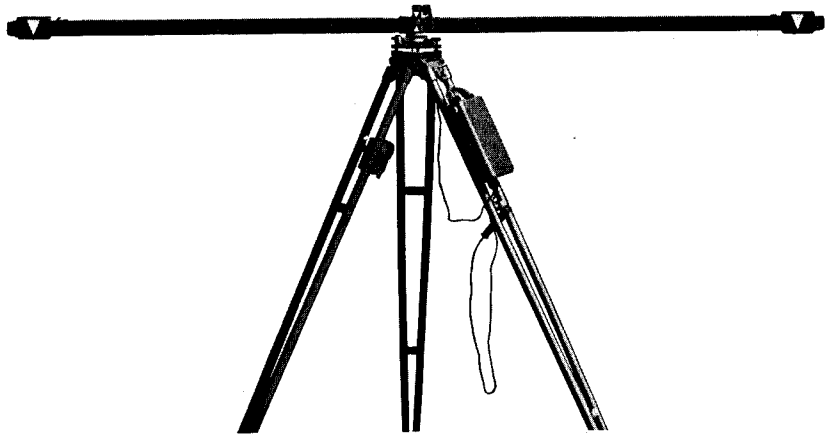
Gambar 84

Karena operasi perkalian pada penentuan jarak dengan baji optis makan banyak waktu dan merupakan sumber kesalahan-kesalahan maka ditemukan **Tachimeter dengan reduksi automatis Wild RDH** (Reduktions-Distanz-Höhenmesser). Reduksi jarak yang miring pada alat ukur sudut ini berlaku automatis dengan suatu sudut pantul α. Makin curam teropong makin kecil sudut ini karena dua baji berputar dengan perbandingan $\cos\beta$. Pada prinsipnya pembacaan dilakukan seperti pada baji optis Wild DM 1 hanya rambu dan skalanya berbeda. Pembagian skala terkecil 2 cm. Ada dua nonius, yaitu 0-2 pada jarak sampai dengan 70 m dan 70-72 pada jarak yang lebih daripada 70 m. Berlawanan dengan baji optis Wild DM 1, pada tachimeter dengan reduksi automatis Wild RDH bayangan tidak menjadi tercampur, melainkan dibagi dua pada suatu garis halus, dengan bagian atas bayangan langsung dan bagian bawah bayangan yang dipantulkan dari nonius, seperti terlihat pada gambar 84 di atas.
Pada pembacaan beda tinggi kita perhatikan angka-angka yang merah pada rambu ukur. Jikalau beda tinggi lebih besar daripada 70 m akan kita gunakan nonius ke-tiga yang berangka merah 30-32. Tachimeter dengan reduksi automatis RDH dilengkapi dengan lingkaran horisontal berskala dan lingkaran vertikal dengan pembacaan skala seperti skala-teocolit Wild T 16.
Saat ini tachimeter dengan reduksi automatis Wild *RDH* sudah tidak lagi diproduksi karena ada alat pengukur jarak elektronis seperti distomat Wild DI 4 dan Wild DI 4L.

2.6.3. *Penggunaan rambu-dasar yang horisontal

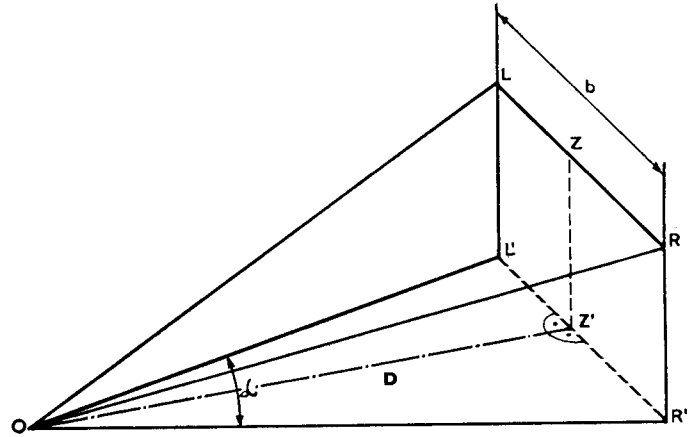
Metode-metode yang dibicarakan sampai sekarang dengan benang stadia menurut Reichenbach atau baji optis dengan sudut paralaks yang tertentu, dua-duanya memotong suatu bagian rambu yang diperhatikan. Akan tetapi kita juga bisa memperhatikan suatu rambu-dasar yang horisontal dengan panjang tertentu dan mencari/menentukan sudut antara ke-dua ujungnya.

a) Pengukuran jarak tunggal



Gambar 85

Metode ini menggunakan suatu **rambu-dasar Wild GBL2m** dengan panjang 2,00 m dan dengan ketelitian $\pm$ 1/10 mm dan tanda segitiga seperti terlihat pada gambar 85 di atas. Karena perubahan suhu sebesar 20° C mengubah jarak hanya sebesar 20 μ, maka dengan kata lain panjang rambu-dasar tetap. Rambu-dasar dipasangkan di atas statif biasa seperti digunakan untuk teodolit Wild T 1A, T 16, T 2 dsb. di-horisontalkan dengan bantuan sebuah vizier disetel siku-siku pada garis bidik.



Gambar 86

Dengan teodolit kemudian kita mengukur sudut paralaks **horisontal** α antara tanda *L* dan *R* dengan jarak *b* = 2,00 m dengan tinggi terhadap titik peletakan alat ukur sudut 0 sembarang seperti terlihat pada gambar 86 di atas.

Oleh nilai sudut α yang horisontal itu dapat kita tentukan tanpa reduksi atau tanpa mengukur beda tinggi **jarak horisontal** D menurut rumus berikut:

$$D = \frac{b}{2} \cot \frac{\alpha}{2}$$

dan dengan b = 2,00 m:

$$D = \cot \frac{\alpha}{2}$$

Ketelitian pengukuran jarak ini tergantung pada ketelitian pengukuran sudut pada teodolit yang digunakan. Kesalahan rata-rata kuadratis pada suatu jarak dengan suatu kesalahan sudut $m = 1''$ ialah:

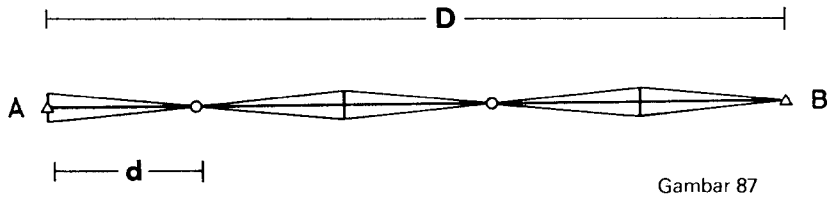
$$m_D = \frac{D^2}{2_p''} = \frac{D^2}{2.206265} \approx \frac{D^2}{400\,000}$$

Atas dasar ketentuan ini kita dapat menggunakan tabel berikut:

D	50	75	100	150	200	300	400	500	m
m_D	6	14	24	55	97	218	388	606	mm

Kita lihat atas dasar tabel di atas, bahwa teodolit dengan ketelitian 1" pada suatu jarak sampai dengan 100 m biasanya memenuhi syarat ketelitian. Pada penentuan jarak yang lebih jauh kita harus melakukan metode-metode yang lain seperti misalnya pengukuran jarak terbagi atau pengukuran jarak dengan rambu-dasar bantuan, lihat juga gambar 87 dan 88 berikut.

b) Pengukuran jarak terbagi



Gambar 87

Pada metode pengukuran jarak terbagi kita membagi jarak yang terlalu panjang D atas n bagian dengan jarak d yang masih dapat diukur dengan metode pengukuran jarak tunggal seperti terlihat pada gambar 87 di atas. Kesalahan rata-rata kuadratis M pada n bagian d yang menjadi jumlah jarak D dapat kita tentukan menurut rumus berikut:

$$M = m_d \cdot \sqrt{n} = \frac{d^2}{2_p''} \cdot \sqrt{n}$$

Kita perlu mencari banyaknya bagian d dari suatu jarak D jikalau kesalahan rata-rata kuadratis M sudah ditetapkan. Perhitungan ini berdasarkan atas kesalahan pengukuran sudut $m\alpha = 1''$ kemudian dengan d = D/n kita dapatkan:

$$M = \frac{d^2}{2_p''} \cdot \sqrt{n} = \frac{D^2}{2_p'' \cdot \sqrt{n^3}}$$

dan atas dasar rumus ini kebanyakan bagian n sebagai:

$$n = \left(\frac{D^4}{4_p''^2 M^2}\right)^{\frac{1}{3}}$$

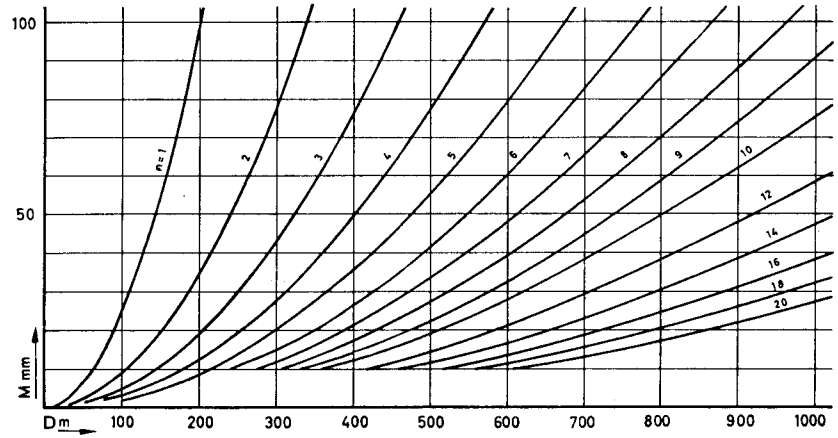
jikalau selanjutnya M menjadi $\pm$ D/10^4 (1:10'000) kita dapatkan kebanyakan bagian n sebagai:

$$n \approx 8.4\,(D_{km}^2)^{\frac{1}{3}}$$

dan jikalau selanjutnya M menjadi $\pm$ D/2 . 10^4 (1:20'000) kita dapatkan kebanyakan bagian n sebagai:

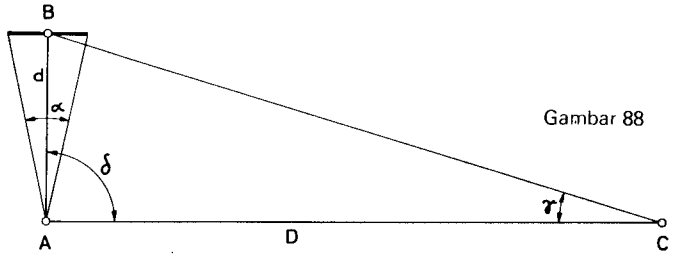
$$n \approx 13.3\,(D_{km}^2)^{\frac{1}{3}}$$

Kebanyakan bagian n yang diperlukan untuk mengukur suatu jarak D dari 100 m s/d 1000 m dengan kesalahan rata-rata kuadratis M dari 10 mm s/d 100 mm dapat dipelajari pada tabel berikut:



D = jarak seluruhnya dalam meter (m)
M = kesalahan jarak dalam milimeter (mm)
n = banyaknya bagian jarak pada kesalahan sudut 1" masing-masing

c) Pengukuran jarak dengan rambu-dasar bantuan



Gambar 88

Pada metode dengan pengukuran jarak dengan rambu-dasar bantuan kita menentukan pada salah-satu ujung dari jarak D suatu jarak d seperti dilihat pada gambar 88 di atas.
Pada titik *B* kita letakkan rambu-dasar dengan panjang $b = 2{,}0$ m. Sudut δ kita pilih $\approx 90°$ dan sudut $\alpha \approx \gamma$. Ketentuan ini menguntungkan pengukuran d dan D. Dengan sudut paralaks α kita menentukan jarak d dan dengan sudut δ dan γ dapat kita menentukan jarak D menurut rumus berikut:

$$D = d\,\frac{\sin(180 - \delta - \gamma)}{\sin\gamma} = d\,.\,\frac{\sin(\delta + \gamma)}{\sin\gamma}$$

Jikalau $\delta = 90°$ kita tentukan:

$$D = \frac{d}{\tan\gamma} \approx \frac{d}{\sin\gamma} \text{ (karena } \gamma \text{ menjadi kecil)}$$

Kalau kemudian $\alpha = \gamma$ kita tentukan:

$$\frac{d}{b} \approx \frac{D}{d}\,;\, D \approx \frac{d^2}{b}$$

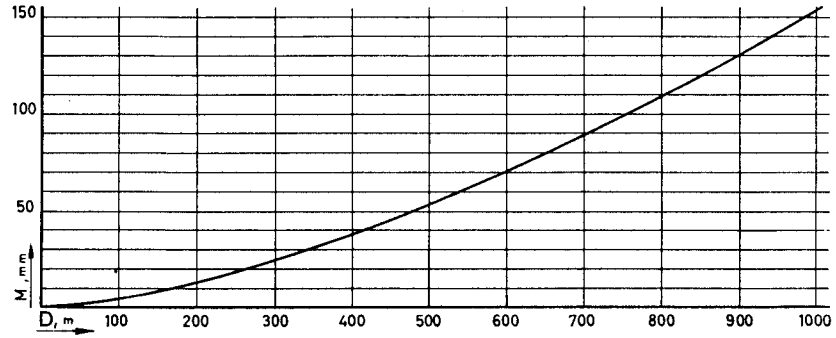
dan karena $b = 2{,}00$ m:

$$D \approx \frac{d^2}{2}$$

Jikalau pada penentuan sudut-sudut tsb. di atas kesalahan pada α dan γ menjadi $\pm$ 1" dan $\alpha \approx \gamma$ dan $\delta = 90°$ maka kesalahan rata-rata kuadratis M_D kemudian dapat ditentukan menurut rumus berikut:

$$M_D = \frac{D\sqrt{d}}{p} \approx \frac{D\sqrt{d}}{200\,000}$$

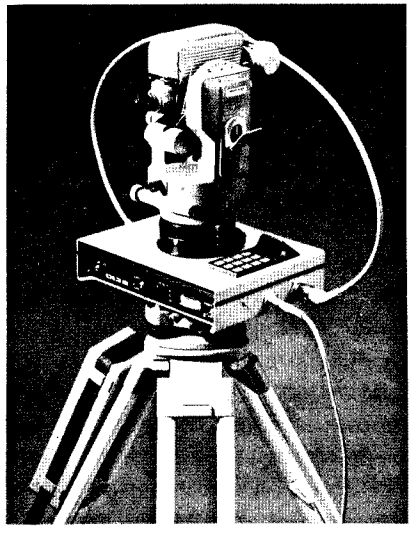
Ukuran jarak semua ditentukan dalam meter (m) nilai-nilai dapat dipelajari pada tabel berikut:



2.7. Pengukuran jarak secara elektronis

Seperti telah kita pelajari pada bab 2.6. ini pengukuran jarak secara optis atau mekanis, terutama pada jarak jauh sangat terbatas. Kemajuan pada pembuatan alat-alat elektronis membantu perkembangan alat mengukur jarak elektronis. Alat-alat pengukur jarak secara elektronis pada jarak maksimal 2 km sedang digunakan sekitar 10 tahun.
Perkembangan ini juga mempengaruhi alat-alat ukur sudut dan menyederhanakan pengukuran sudut dengan pembuatan tachimeter elektronis yang mengukur automatis dan dapat juga menyimpan data-data secara automatis.

2.7.1. Wild Distomat DI 4



Gambar 89

Wild Distomat DI 4 sebagai perlengkapan yang dipasangkan di atas teropong teodolit Wild T 1, T 16 atau T 2

Alat pengukur jarak secara elektronis, Wild Distomat DI 4 menjadi hasil kerja sama antara perusahaan Wild Heerbrugg Ltd. Swis dan perusahaan Sercel di Nantas, Perancis, sebagai pengganti Wild Distomat DI 35 dan DI 10. Oleh kerja sama ini sedang dibuat dan dijual lebih dari 10' 000 Wild Distomat DI 10 dan DI 3. Alat pengukur jarak secara elektronis digunakan terutama untuk pengukuran jaringan triangulasi, mengukur jarak-jarak pada macam-macam proyek pembangunan, dan mengontrol macam-macam ukuran.
Alat pengukur jarak secara elektronis Wild Distomat DI 4 ditemukan dan dijual sejak 1980 dan memenuhi hampir semua keinginan yang diharapkan pada suatu alat pengukur jarak pada penyipatan. Perlengkapan Wild Distomat DI 4 terdiri dari: statif, bagian pengukuran, alat ukur sudut, sasaran dan aki. Sasaran yang terdiri dari pemancar dan pesawat penerima yang dipasangkan di atas teropong suatu teodolit Wild T 1, Wild T 16 atau T 2. Suatu pengimbang menghindari gaya-gaya yang tidak diinginkan karena titik berat tetap berada pada sumbu kedua. Pemasangan ini memungkinkan penyipatan arah dan jarak sekali gus. Bagian pengukuran yang dihubungkan dengan sasaran dengan satu kabel dipasangkan di antara statif dan teodolit, pada suatu sumbu tersendiri. Karena disambung dengan teodolit, maka kabel tidak mengganggu. Isian bagian pengukuran ialah: meter getaran frekwensi dan alat menghitung reduksi.
Alat pengukur jarak elektronis, Wild Distomat DI 4 menggunakan gelombang merah infra (GeAs-diode) yang tidak dapat dilihat. Frekwensi yang digunakan ialah 7,5 MHz dan 487 MHz. Karena gelombang ini melewati jarak yang diukur pulang-pergi hampir dengan kecepatan cahaya, kesatuan dapat ditentukan 30 m (setengah gelombang pada pengukuran teliti) dan 2000 m (pada pengukuran yang kasar). Objektif pemancar memusatkan gelombang-gelombang pada suatu sudut sebesar 4' (= 12 cm/100 m). Sebagian dari gelombang-gelombang yang diterima oleh suatu prisma reflektor akan dikembalikan ke objektif pesawat penerima dan difokuskan atas suatu fotodiode. Pada meter getaran frekwensi diukur perbedaan getaran frekwensi antara gelombang yang dipancarkan dan gelombang yang ditangkap oleh refleksi sasaran. Perbedaan ini menentukan jarak antara Distomat dan sasaran.
Program pengukuran pada alat pengukur jarak elektronis, Wild Distomat DI 4, menentukan jarak miring sesudah sasaran dibidik dan saklar 'DIST' ditekan, secara automatis dalam waktu 10 detik seteliti 6 angka, misalnya 257,341 m. Program ini bekerja teliti sekali karena telah ditera. Jarak yang ditentukan pada program pengukuran jarak merupakan hasil rata-rata dari

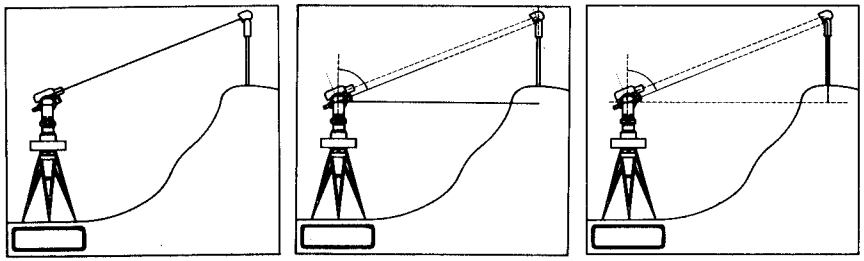
1000 pengukuran. Sinar yang pulang pergi di antara bagian pengukuran dan sasaran boleh diganggu misalnya oleh mobil-mobil yang lewat, tanpa merugikan ketelitian hasil pengukuran jarak, hanya waktu pengukuran diperpanjang karena hasil baru kita terima sesudah 1000 pengukuran selesai dilakukan.

Bagian pengukuran ini dilengkapi dengan satu mini-komputer dengan program tertentu, karena tugasnya tetap reduksi jarak miring atas jarak horisontal. Nilai sudut vertikal harus ditentukan oleh ahli penyipat yang melakukan penyipatan. Ini berarti pada waktu bagian pengukuran mengukur jarak miring, kita mengukur sudut vertikal pada lingkaran vertikal berskala dan nilainya diberikan kepada komputer pada papan tombol jari.
Sesudah kemudian saklar △ ditekan maka dalam waktu beberapa detik didapat jarak horisontal, dan jikalau perlu △l beda tinggi. Minikomputer ini juga memungkinkan perhatian misalnya faktor-faktor koreksi skala, menghitung jarak dari meter ke kaki inggeris atau menentukan selisih koordinat-koordinat yang siku-siku.

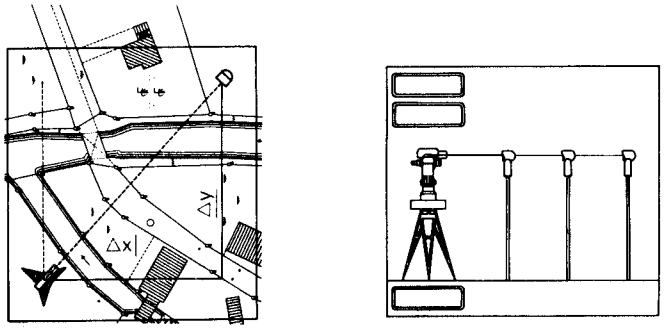
Seperti telah dikatakan alat pengukur jarak elektronis Wild Distomat DI 4 dibuat terutama untuk pekerjaan kadaster dan insinyur. Jarak-jarak pada pekerjaan ini biasanya kurang dari 500 m dan jarang sekali lebih panjang daripada 1000 m. Karena itu Wild Distomat paling cocok pada suatu jarak yang 1000 m, berhubung garis-tengah objektif dan ukuran prisma reflektor (50 × 100 mm), yang memungkinkan hasil yang teliti pada jarak 1000 m walaupun suasana hanya sedang. Jikalau kita menginginkan mengukur jarak yang lebih jauh atau pada suasana yang agak jelek, maka harus ditambah banyaknya prisma reflektor. Misalnya dengan sebelas prisma reflektor dapat kita ukur suatu jarak 2000 m.

Ketelitian suatu jarak yang diukur dengan Wild Distomat DI 4 5 mm + 5 mm/km. Kesalahan rata-rata ini tidak tergantung dari jarak dan bisa terjadi pada jarak yang jauh maupun pendek. Ketidaktelitian yang lain pada Wild Distomat DI 4 tidak ada, walaupun kita harus memperhatikan bahwa kecepatan pada gelombang merah infra tergantung dari suhu dan tekanan udara. Pengaruh ini dapat kita tiadakan dengan ketentuan suatu faktor koreksi skala pada pengukuran jarak. Biasanya ketelitian kurang tergantung dari bagian pengukuran jarak, daripada dari bagian teodolit. Jikalau kita menggunakan teodolit Wild T 1 atau T 16 maka ketelitian beda tinggi kurang lebih 1 cm pada 300 m jarak. Dengan keterangan, bahwa koreksi oleh bulatan permukaan bumi pada jarak 300 m sudah menjadi 1 cm.
Pada gambar 90 berikut kita dapat memperhatikan tugas-tugas yang dapat diterima alat pengukur jarak elektronis Wild Distomat DI 4, yaitu: *a*) mengukur jarak miring, *b*) menentukan jarak horisontal, *d*) menentukan

beda tinggi, *d*) menentukan selisih koordinat Δx dan Δy, a) mengukur beberapa jurusan.



a) b) c)

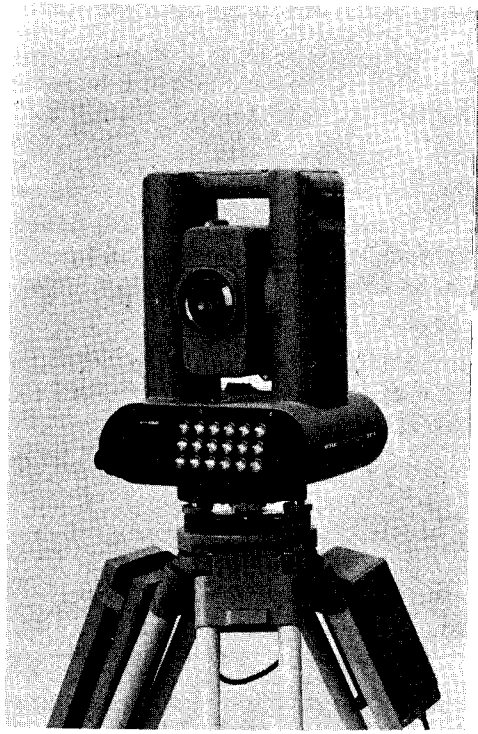


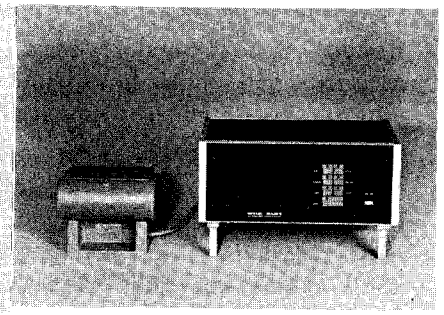
d) e)

Gambar 90 a-e

2.7.2. Sistim Wild Tachimat elektronis TC 1

Seperti alat pengukur jarak secara elektronis Wild Distomat Di 4, Wild Tachimat elektronis TC 1 ialah hasil kerja sama antara perusahaan Wild Heerbrugg Ltd. Swis dan perusahaan Sercel di Nantes, Perancis dan ditemukan Juni 1977. Penggunaan Wild Tachimat elektronis TC 1 ialah pada kadaster, perbaikan dan pemeriksaan kadaster, profil memanjang dan profil melintang, beserta detail pada macam-macam proyek pembangunan. Dasarnya Wild Tachimat elektronis TC 1 ialah suatu teodolit-tachimeter dengan reduksi automatis yang bekerja elektronis. Kita dapat mengukur sudut, jarak horisontal atau miring, koordinat-koordinat dan beda tinggi. Karena nilai-nilai yang diukur dapat langsung dicetak pada sebuah pita kaset, maka dapat dihemat waktu dan ketelitian bertambah dengan menghindari kesalahan yang kasar oleh catatan pada buku ukur yang keliru.





Casette reader sebagai alat penghubung di antara Tachimat TC 1 dan komputer

Tachimat TC 1 di atas kaki tiga

Gambar 91

Bagian-bagian dan data-data yang penting pada sistim Wild Tachimat TC 1 ialah:

Teropong : Teropong koaksial yang memungkinkan penentuan jarak dan pengukuran sudut sekali gus. Pembesaran 25× dengan zoom pada jarak yang pendek, dan karena itu jarak terpendek yang masih dapat dibaca 2.00 m.

Alat pengukur jarak : Alat pengukur jarak bekerja automatis dengan ketelitian ± 5 mm/km. Jarak maksimal adalah 2 km. Pengukuran jarak dapat dilakukan horisontal atau miring, dalam meter atau kaki.

Pengukuran sudut : Sebagai tambahan perlengkapan komputer yang membaca dan memperlihatkan sudut horisontal dan sudut vertikal dengan menggunakan lingkaran 360° atau 400g. Dapat dibaca lingkaran berskala dalam arah jarum jam atau berlawanan. Ex-sentrisitas lingkaran ditiadakan

dengan pemasangan sensor yang berlawanan. Ketelitian pada lingkaran horisontal berskala ialah ± 2" dan pada lingkaran vertikal berskala ± 3".

Bandul : Sebuah bandul beserta sensor bekerja sebagai nivo indeks yang automatis pada lingkaran vertikal berskala. Jikalau perlu bisa juga melewati sistim automatis ini dan membaca lingkaran vertikal berskala menurut sumbu mekanis pada alat.

Pengolahan data-data : Sebuah mikro-pengolah data-data mengawas pembacaan jarak dan sudut-sudut. Diperhatikan faktor koreksi pada penentuan jarak dan jarak horisontal, beda tinggi, tinggi di atas permukaan laut dan koordinat-koordinat dihitung. Koreksian oleh pembulatan permukaan bumi dan oleh refraksi diperhatikan secara automatis.

Display (pembacaan): Pada dua ujung alat berada dua LED-display dengan delapan angka masing-masing. Pada rekaman pada kaset selalu dapat terbaca nomor kelompok dan angka masing-masing.

Papan tombol jari : Karena ada papan tombol jari pada kedua ujung alat masing-masing, maka kita dapat bekerja dengan kedudukan teropong B dan LB tanpa halangan. Papan tombol jari digunakan untuk menyampaikan data-data dasar seperti salah satu tinggi di atas permukaan laut, atau koordinat-koordinat suatu titik tertentu dsb. atau untuk kode informasi pertama jikalau direkam pada kaset. Suatu bunyi memberitahukan agar informasi/input dapat diterima.

Perlengkapan rekaman : Alat perlengkapan rekaman dapat dipasang di atas alat Wild Tachimat TC 1 dengan kaitan berper. Alat ini dibuat tahan air, hujan dan debu. Sesudah dipasangkan alat ini menjadi sebagian yang berhubungan erat dengan Tachimat.

Rekaman kaset : Dengan menekan saklar rekaman, suatu kelompok data akan direkam dalam waktu dua detik. Pembacaan lingkaran, jarak, beda tinggi, nomor kelompok dan nomor titik masing-masing direkam secara automatis. Penentuan nomor titik/tugu dapat ditentukan sendiri atau berderetan secara automatis. Semua data yang direkam diperiksa automatis.

Kaset-kaset : Kita dapat merekam pada pita kaset magnetis, suatu sistim pengumpul dan penyimpan data yang paling ekonomis. Sekitar 1800 kelompok data dapat disimpan dalam satu kaset. Rekaman kaset maupun kaset itu sendiri dapat dipergunakan pada suhu −20° C s/d +50° C.

Alat pembaca kaset : Kaset-kaset dapat dibaca dengan suatu alat khusus dengan TTY dan RS232/V24, perlengkapan yang memungkinkan penyampaian data-data langsung ke teletipe, video-terminal, lewat tilpon dengan modem atau langsung ke desk-top atau komputer yang besar. Alat pembaca kaset juga membuat kaset duplikat jikalau kita perlu mengirimkan suatu kaset ke tempat lain.

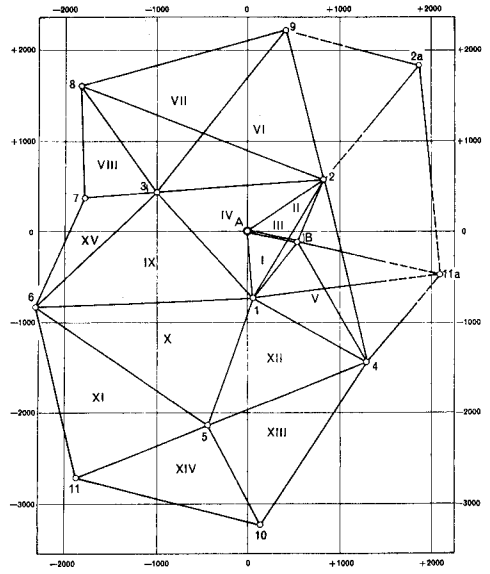
2.8. Penggunaan alat-alat ukur sudut pada praktek

Dalam praktek kita sering cukup melakukan perataan kesalahan secara sederhana (tidak memakai metode kuadrat terkecil). Perencanaan jaringan triangulasi di lapangan yang baik untuk menjauhkan kesalahan pengukuran yang besar. Jaringan triangulasi itu juga dapat digunakan sebagai kontrol pada pengukuran detail pada lapangan tersebut.

2.8.1. Jaringan triangulasi sederhana

Pada suatu lapangan tanpa tugu triangulasi yang pasti, kita sendiri harus membangun triangulasi yang sederhana. Kita memilih suatu bagian pada pertengahan lapangan yang datar dan bebas pohon untuk menentukan suatu basis *A-B* (lihat juga bab 2.1.1. Jaringan segi-tiga). Panjangnya basis itu dipilih sebaiknya 1/4 s/d 1/10 dari panjang sisi segitiga yang akan dipilih pada triangulasi. Pada jaringan triangulasi yang besar dan terutama panjang sekali sebaiknya kita pilih dua basis pada ujung masing-masing sebagai kontrol dan untuk meningkatkan ketelitian.

a) Jaringan dasar



Gambar 92

Misalnya kita menerima tugas menyipat suatu lapangan yang belum dikenai suatu triangulasi. Kita harus akan membangun suatu jaringan tugu dengan jarak masing-masing sekitar 2,0 km seperti terlihat pada gambar 92 di atas. Luasnya lapangan yang dibayangkan kira-kira 35 km².

Pertama kita pilih basis *A-B* dengan panjang sekitar 550 m di pertengahan lapangan. Basis itu diukur dengan pita ukur 50 m panjang. Ketelitian pita ukur itu akan menjadi $m_1 = \pm 5$ mm (kesalahan rata-rata kuadratis). Karena kita harus akan mengukur 11 kali 50 m, maka kesalahan pada basis (kesalahan sistematik) menjadi:

$$M_1 = n \,.\, m_1 = 11 \,.\, 5 = \pm 55 \text{ mm}.$$

Kesalahan acak (kebetulan) m_2 tergantung dari gaya tarik pada pita ukur, suhu dan ketelitian pada setiap bagian pengukuran, ditentukan sebesar ± 5 mm pada tiap-tiap pengukuran:

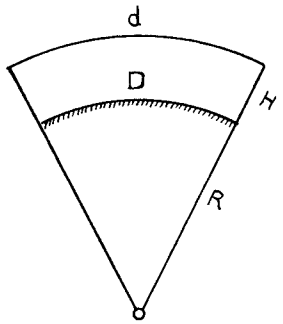
$$M_a = m_a\sqrt{n} = 5\sqrt{11} = \pm 17 \text{ mm}.$$

Atas dasar ketentuan ini kesalahan keseluruhan pada basis menjadi:

$$M = \pm \sqrt{M_1^2 + M_2^2} = \pm \sqrt{55^2 + 17^2} = \pm 58 \text{ mm}.$$

yang berarti kira-kira 1:10' 000 panjang basis.

Panjang basis menentukan skala penyipatan. Jikalau basis terlalu panjang, maka luasnya bagian lapangan menjadi terlalu besar dan jikalau panjang basis terlalu pendek, maka luasnya bagian lapangan menjadi terlalu kecil.



Gambar 93

Biasanya kita me-reduksikan panjang basis pada permukaan laut seperti terlihat pada gambar 93 sebelah kiri. Jikalau misalnya telah diukur basis pada H = 700,00 m di atas permukaan laut dengan panjang 552.49 m, maka basis yang direduksikan D, dengan memperhatikan jari-jari bumi R = 6' 370' 300 m, dapat ditentukan sebagai berikut:

$$D = d\,\frac{R}{R+H} = d\,(1 - \frac{H}{R+H})$$

d = 552.50 m H = 700 m R = 6 370 300 m:

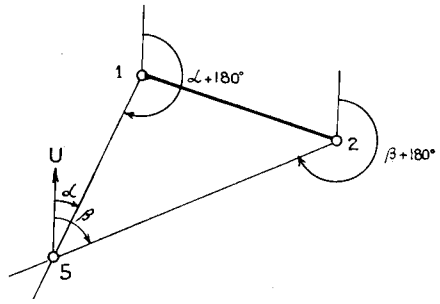
$$D = 552.50\,(1 - \frac{700}{6\,371\,000}) = 552.50 - 0.06 = 552.44 \text{ m}$$

Ketelitian basis ini yang diukur dengan pita ukur dari baja hanya dapat dicapai di lapangan yang datar. Jikalau ketentuan ini tidak dapat dipenuhi sebaiknya digunakan rambu-dasar yang horisontal dan sebuah teodolit dengan ketelitian ± 1". Ketelitian pada penentuan panjang basis menjadi sama, tetapi kita tidak lagi tergantung dari lapangan yang datar.

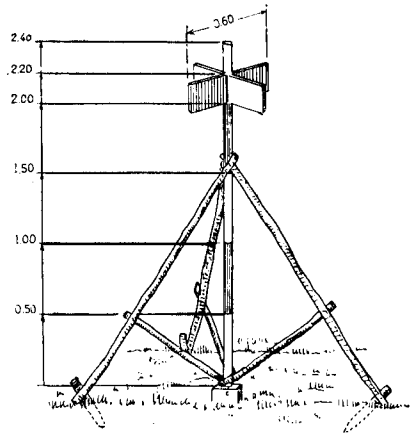
Pada lapangan yang sama sekali tidak memungkinkan penentuan basis yang agak pendek, terpaksa kita langsung menentukan panjang suatu sisi pada jaringan segi-tiga. Cara ini baru mungkin dengan penggunaan alat pengukur jarak elektro-optis Wild Distomat DI 4 atau DI 4L.

Juga dengan alat pengukur jarak gelombang-mikro Wild Distomat DI 60 dapat ditentukan sisi pada jaringan segitiga yang panjang dengan ketelitian yang cukup untuk tujuan geodesi.

b) Jaringan segitiga



Gambar 94



Gambar 95

Bentuk pada jaringan segitiga tergantung dari keadaan lapangan yang selalu perlu diawasi. Titik-titik yang kira-kira cocok sebagai tugu langsung kita tentukan letaknya dengan pedoman tangan. Jikalau kita misalnya sudah mengetahui letak titik/tugu 1 dan 2 pada gambar 94 di atas, dengan kompas sudut α dan β kita tentukan titik/tugu 5. Titik ini dapat digambar dengan cara pemotongan ke belakang.

Yang harus diperhatikan dengan khusus, yaitu perambuannya. Rambu-rambu itu harus berdiri sejajar anting tepat di atas tugu dan diperkuat dengan tiga topang seperti terlihat pada gambar 95 di atas.

c) Pemilihan alat ukur sudut

Jikalau pekerjaan persiapan selesai baru dapat kita mulai dengan pengukuran sudut-sudut. Pemilihan alat ukur sudut tergantung dari ketelitian yang diharapkan, dari jarak-jarak titik poligon dan dari panjangnya basis. Tidak ada gunanya misalnya menentukan sudut-sudut dengan ketelitian 1/10" jikalau panjangnya basis hanya diukur dengan pita ukur dengan kesalahan ± 57 mm seperti pada contoh di muka. Pengaruh kesalahan panjang basis hanya pada skala tetapi kesalahan penentuan sudut mempengaruhi triangulasi.

Pada prinsipnya boleh dikatakan di sini, bahwa sebaiknya suatu pengukuran sudut dibuat lebih teliti daripada yang sebenarnya diperlukan. Jikalau kemudian hari diperlukan angka-angka yang lebih teliti penyipatan tsb. sudah diadakan dan yang perlu hanya perhitungan kembali lebih teliti, misalnya pada suatu sistim koordinat yang baru dsb.

Pada jaringan triangulasi yang sederhana biasanya digunakan teodolit Wild T 2 atau Wild T 16. Lihat juga bab 2.2.8. (Pemilihan teodolit yang cocok).

d). Peninjauan jaringan segitiga

Peninjauan geografis pada triangulasi primer dan sekunder pada wilayah yang luas dilakukan atas dasar bayangan bintang-bintang. Jaringan segitiga yang sederhana biasanya didasarkan atas tugu yang sudah diketahui tinjauannya. Peninjauan selanjutnya dilakukan dengan pedoman atau dengan matahari, jikalau perlu diketahui garis meridian. **Wild Prisma-matahari** (penemuan Prof. Roelofs) memungkinkan penentuan pusat matahari.

Suatu perlengkapan pada teodolit Wild T 1, Wild T 16 atau Wild T 2 ialah **kompas-giro Wild GAK 1** yang bisa menentukan garis meridian (utara geografis) pada waktuyang singkat (hanya 20 menit) dengan ketelitian ± 20". Alat kompas-giro Wild GAK 1 ini dapat dilakukan di mana-mana saja antara 75° utara dan 75° selatan dari katulistiwa.

e) Perhitungan jaringan segitiga (lihat gambar 92)

Titik *U* pada sistim koordinat diletakkan pada titik *A* dan jurusan *A* → B terhadap jurusan utara bersudut 102°02' 56" (sudut-arah). Panjangnya basis dari permukaan laut menjadi 552.44 m. Sudut-sudut segi-tiga masing-masing diambil dari buku ukur. Dengan nilai-nilai ini kita sudah mengetahui semua data untuk menentukan titik masing-masing. Perhitungan dilakukan seperti berikut:

Soal 1: Memperbaiki semua sudut pada segi-tiga masing-masing, maka jumlahnya selalu menjadi 180°.

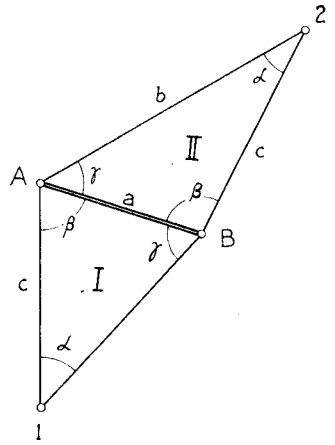
Soal 2: Meniadakan segitiga I dan II pada basis dan dengan bantuan garis sisi 1-2 membentuk segitiga III.

Soal 3: Meniadakan segitiga-segitiga induk.

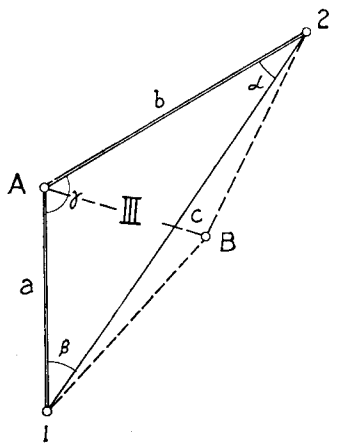
Soal 4: Menghitung sudut-arah dan koordinat-koordinat dengan bantuan poligon yang sederhana.

Penyelesaian soal-soal pada contoh menurut gambar 92 dilakukan dengan kalkulator elektronik. Perlu diperhatikan agar ketelitian perhitungan membutuhkan paling sedikit 6 angka sesudah koma, walaupun yang dicetak 4 angka saja.

Soal 1: Semua sudut pada segitiga masing-masing jumlahnya selalu 180°. Atas dasar daftar pada bab 2.5.3. (Metode dengan mengukur jurusan) dan gambar 92 dapat kita tentukan segitiga masing-masing seperti berikut:



Gambar 96



Gambar 97

Segitiga I (gambar 96).

		diukur	koreksi	dibetulkan
		° ′ ″	″	° ′ ″
β	=	73 08 56	+2	73 08 58
γ	=	64 11 55	+2	64 11 57
α	=	42 39 04	+1	42 39 05
		179 59 55	+5	180 00 00

Segitiga II (gambar 96)

γ	=	46 59 44	+1	46 59 45
β	=	100 21 58	+1	100 21 59
α	=	32 38 14	+2	32 38 16
		179 59 56	+4	180 00 00

Segitiga III (gambar 97)

γ {	=	46 59 45	0	46 59 45
	=	73 08 58	0	73 08 58
β	=	35 05 38	−3	35 05 35
α	=	24 45 44	−2	24 45 42
		180 00 05		180 00 00

Segitiga IV (gambar 98)

γ	=	73 01 16	−3	73 01 13
β	=	55 11 23	−2	55 11 21
α	=	51 47 29	−3	51 47 26
		180 00 08	−8	180 00 00

Soal 2: Meniadakan segitiga I dan II pada basis dan dengan penghitungan sisi 1-2 yang membentuk segitiga III. Penyelesaiannya berdasarkan atas rumus sinus:

$$\frac{a}{\sin\alpha} = \frac{b}{\sin\beta} = \frac{c}{\sin\gamma}, \text{ dan kemudian}$$

$$b = \frac{a \,.\, \sin\beta}{\sin\alpha} \text{ dan } c = \frac{a \,.\, \sin\gamma}{\sin\alpha}$$

Maka, jikalau kita mengetahui sisi *a* dan sudut α, β, γ suatu segitiga, sisi-sisi lainnya dapat ditentukan. Untuk perhitungan sebaiknya kita gambar segitiga itu dengan memperhatikan syarat berikut:

a = sisi yang sudah diketahui, di hadapan sudut α
b = sisi yang dicari, di hadapan sudut β
c = sisi yang dicari, di hadapan sudut γ.

Segitiga I (gambar 96)

Basis A-B yang diukur = 552.50 m
reduksi dasar permukaan laut = 0.06 m

Basis A-B yang direduksikan a = 552.44 m

Nilai-nilai sudut yang diketahui:

α = 42°39′05″ = 42.6514° → $\sin\alpha$ = 0.677536

β = 73°08′58″ = 73.1494° → $\sin\beta$ = 0.957064

γ = 64°11′57″ = 64.1992° → $\sin\gamma$ = 0.900313

$$b = \frac{a}{\sin\alpha}\sin\beta \qquad c = \frac{a}{\sin\alpha}\sin\gamma$$

$$b = \frac{552.44}{0.677536}\,0.957064 \qquad c = \frac{552.44}{0.677536}\,0.900313$$

b = 780.36 m c = 734.08 m

Segitiga II (gambar 96)

$$b = \frac{552.44}{0.539318}\,.\,0.983678 \qquad c = \frac{552.44}{0.539318}\,.\,0.731301$$

b = 1007.60 m c = 749.09 m

Segitiga III (gambar 98)

a = 734.08 m α = 24°45′42″ = 24.7617° → sinα = 0.418845

b = 1007.60 m β = 35°05′35″ = 35.0930° → sinβ = 0.574905

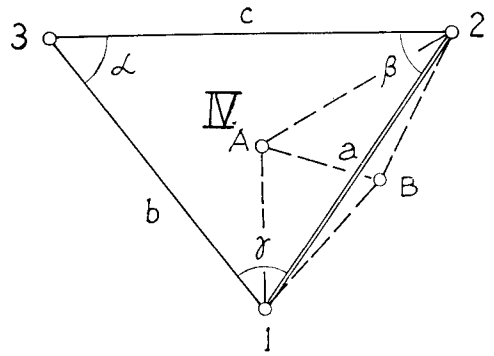
γ = 120°08′43″ = 120.1453° → sinγ = 0.864754

$$c = \frac{a}{\sin\alpha} \sin\gamma \qquad c = \frac{b}{\sin\beta} \sin\gamma$$

$$c = \frac{734.08}{0.418845} . 0.864754 \qquad c = \frac{1007.60}{0.574905} . 0.864754$$

c = 1515.60 m c = 1515.60 m

Soal 3: Meniadakan segitiga-segitiga induk dan membentuk segitiga IV seperti ditentukan pada gambar 98 berikut:



Gambar 98

Segitiga IV (gambar 98)

a = 1515.60 α = 51°47′26″ = 51.7906° → sinα = 0.785755

β = 55°11′21″ = 55.1892° → sinβ = 0.821042

γ = 73°01′13″ = 73.0203° → sinγ = 0.956408

$$b = \frac{1515.60}{0.785755} . 0.821042 \qquad c = \frac{1515.60}{0.785755} . 0.956408$$

b = 1583.66 m c = 1844.76 m

Dengan cara ini telah kita tentukan satu segitiga induk dari triangulasi ini. Segitiga induk yang lain dapat ditentukan dengan cara yang sama.

Soal 4: Menghitung sudut-arah dan koordinat-koordinat atas dasar sudut-arah 102°02′56″ yang telah kita tentukan pada arah *A*→*B*. Kita selanjutnya menyipat poligon utama dari *A* ke *B*, 2,9, 8, 7, 6, 11, 5, 1 dan kembali ke *A*. Perhitungan koordinat kita dapatkan pada perhitungan tabel berikut:

Hitungan poligon utama

Tugu	sudut α	sudut-arah t	jarak d	sin t.d = ΔX	cos t.d = ΔY	koordinat X	koordinat Y
A	° ′ ″	° ′ ″	m			0.00	0.00
		102 02 56	552.44	+ 540.27	− 115.32		
B	100 21 59					+ 540.27	− 115.32
		22 24 55	749.09	+ 285.64	+ 692.49		
2	143 49 00					+ 825.91	+ 577.17
		346 13 55	1696.74	− 403.81	+ 1647.98		
					−1		
9	88 26 28					+ 422.10	+ 2225.14
		254 40 23	2319.81	−2237.30	− 613.19		
				−2			
8	103 48 53					−1815.22	+ 1611.95
		178 29 16	1242.31	+ 32.78	−1241.87		
7	205 49 09					−1782.44	+ 370.08
		204 18 25	1318.73	− 542.82	−1201.84		
6	142 10 40					−2325.26	− 831.76
		166 29 05	1944.04	+ 454.33	−1890.22		
					−1		
11	81 16 31					−1870.93	−2721.99
		67 45 36	1545.48	+ 1430.50	+ 584.94		
				−2			
5	131 53 27					440.45	−2137.05
		19 39 03	1492.47	+ 501.90	+ 1405.55		
1	155 32 51					+ 61.45	− 731.50
		355 11 54	734.08	− 61.45	+ 731.50		
A	286 51 02					0.00	0.00
		102 02 56					
B	1440 00 00			+ 3245.42	+ 5062,46		
				−3245.38	−5062.44		
			selisih	+ 4	+ 2		

Jumlah sudut α harus 180° (n − 2); [α] = 180° [10-2] = 1440°00′00″. Jumlah semua Δx dan Δy seharusnya 0,00. Kesalahan kecil oleh pembulatan angka-angka juga kita bagi menurut perbandingan.

Karena hitungan poligon utama tadi belum mengenai semua titik maka kita menyipat poligon cabang dua kali lagi dari titik *7* ke titik *3* dan *2* dan kemudi-

an dari titik *11* ke titik *10, 4* dan *2* sehingga penyipatan ini mengenai semua titik/tugu menurut gambar 92.

Hitungan poligon cabang dari titik 7 ke titik 2

Tugu	sudut α	sudut-arah t	jarak d	sin t.d = ΔX	cos t.d = ΔY	koordinat X	koordinat Y
	° ′ ″	° ′ ″	m				
8							
		178 29 16					
7	86 55 28					−1782.44	+ 370.08
		85 24 44	771.78	+ 769.31	+ 61.73		
				+2			
3	180 04 06					−1013.11	+ 431.81
		85 28 50	1844.73	+ 1839.00	+ 145.36		
				+2			
2	80 45 05					+ 825.91	+ 577.17
		346 13 55					
9							
	167 44 39	167 44 39	seharus-	+2608.31	+ 207.09	+2608.35	+ 207.09
Selisih	0		nya	+2608.35	+ 207.09		
			Selisih	+4	0		

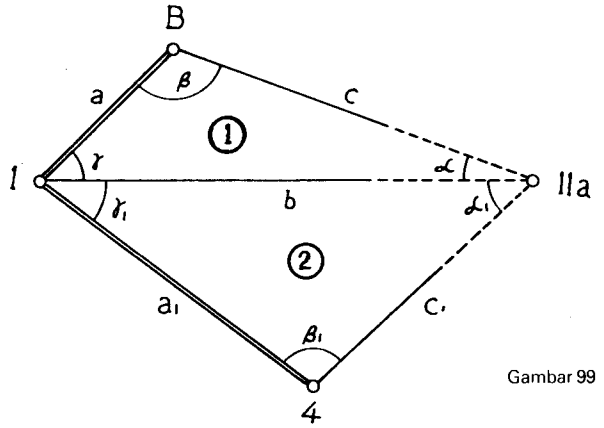
Hitungan poligon cabang dari titik 11 ke titik 2

Tugu	sudut α	sudut-arah t	jarak d	sin t.d = ΔX	cos t.d = ΔY	koordinat X	koordinat Y
	° ′ ″	° ′ ″	m				
6							
		166 29 05					
11	117 30 43					−1870.93	−2721.99
		103 59 48	2063.43	+2002.17	− 499.07		
				−7	−1		
10	108 48 00					+ 131.17	−3221.07
		32 47 48	2119.27	+1147.92	+1781.45		
				−4	−2		
4	134 32 27					+1279.05	−1439.64
		347 20 15	2067.10	− 453.12	+2016.83		
				−2	−2		
2	178 53 40					+ 825.91	+ 577.17
		346 13 55					
9							
	179 44 50	179 44 50	seharus-	+2696.97	+3299.21	+2696.84	+3299.16
Selisih	0		nya	+2696.84	+3299.16		
			Selisih	−13	−5		

Sekarang kita mengetahui koordinat semua tugu pada jaringan segitiga (triangulasi) yang diperhatikan. Jikalau kita kemudian ingin menambah beberapa titik lagi, maka dapat dilakukan dua cara berikut:
Cara 1: Penentuan titik secara pemotongan ke muka
Cara 2: Penentuan titik secara pemotongan ke belakang

Cara 1: Penentuan titik secara pemotongan ke muka

Titik-titik yang tidak memungkinkan diletakkannya sebuah teodolit seperti menara gereja, cerobong asap yang tinggi dsb. dapat kita tentukan dengan mengukur titik itu dari dua titik yang sudah diketahui. Karena pada segitiga ini kita tidak dapat mengukur sudut ke-tiga maka tidak ada kontrol perhitungan. Karena itu pada penentuan titik secara ke muka kita memilih 3 titik yang sudah diketahui seperti terlihat pada gambar 99 berikut.



Gambar 99

Contoh: Penentuan titik *11a* secara pemotongan ke muka (lihat gambar 99 dan gambar 92).

Yang diketahui: koordinat-koordinat titik *B, 1* dan *4*, sudut β dan γ pada segitiga ① dan sudut β_1 dan γ_1 pada segitiga ②.

Penyelesaian:

Dengan koordinat-koordinat kita tentukan sisi *a* dan a_1 beserta sudut-arah.

Segitiga ①

rumus: $\tan t_{B-1} = \frac{\Delta x}{\Delta y}$ $\quad a = \frac{\Delta x}{\sin t} = \frac{\Delta y}{\cos t}$

	X		Y	
B	+540.27		−115.32	
1	+ 61.45		−731.50	
Δx	= −478.82	Δy	= −616.18	(kuadran III)

sudut-arah t_{B-1}:

$$\frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{478.82}{616.18} = 0.777078 \; (\tan t_{B-1})$$
$$= 37.85°$$

$$t_{B-1} \quad 37°51'00'' + 180°$$
$$= 217°51'00''$$

β = 114°47'03''
γ = 44°56'51''
$\beta+\gamma$ = 159°43'54''
180° 0' 0''
α = 20°16'06''

sisi a:

$$a = \frac{\Delta x}{\sin t_{B-1}} = \frac{478.82}{0.613596} \qquad a = \frac{\Delta y}{\cos t_{B-1}} = \frac{616.18}{0.789620}$$

a = 780.35

sisi b: $b = \frac{a}{\sin\alpha} \sin\beta$

$$b = \frac{780.35}{0.346417} \cdot 0.907894$$

b = 2045.15 m

sisi c: $c = \frac{a}{\sin\alpha} \sin\gamma$

$$c = \frac{780.35}{0.346417} \cdot 0.706459$$

c = 1591.40 m

Segitiga ②

	X		Y	
1	+ 61.45		− 731.50	
4	+1279.05		−1439.64	
Δx	= +1217.60	Δy	= − 708.14	(kuadran II)

sudut-arah t_{1-4}:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{708.14}{1217.60} = 0.5816 \; (\tan t_{1-4})$$
$$= 30.1817°$$

$$t_{1-4} \quad 30°10'54'' + 90°$$
$$= 120°10'54''$$

β_1 = 99°53'30''
γ_1 = 37°23'10''
$\beta_1+\gamma 1$ = 137°16'40''
180° 0' 0''
α_1 = 42°43'20''

sisi a_1:

$$a_1 = \frac{\Delta x}{\sin t_{1-4}} = \frac{1217.60}{0.864435} \qquad a_1 = \frac{\Delta y}{\cos t_{1-4}} = \frac{708.14}{0.502744}$$

a_1 = 1408.55 m

sisi *b* dan sisi c_1:

$b = \frac{a_1}{\sin\alpha_1}.\sin\beta_1 = \frac{1408.55}{0.678444}.0.985134$ $c_1 = \frac{a_1}{\sin\alpha_1}.\sin\gamma_1 = \frac{1408.55}{0.678444}.0.607183$

b 2045.28 c_1 = 1260.60 m

b segitiga ① 2045.15

b rata-rata 2045.22 m

Penentuan koordinat-koordinat pada titi *11a*:

rumus: $\Delta x = d \sin t$ $\Delta y = d \cos t$

t_{B-1}	= 217°51′00″	t_{1-B}	= 37°51′00″	t_{1-4}	= 120°10′54″
β	= 114°47′03″	γ	= 44°56′51″	β_1	= 99°53′30″
t_{B-11a}	= 103°03′57″	t_{1-11a}	= 82°47′51″		220°04′24″
					−180° 0′ 0″
				t_{4-11a}	= 40°04′24″

$\Delta x = c.\sin t_{B-11a} = 1591.40 . 0.974111$ $\Delta y = c.\cos t_{B-11a} = 1591.40 . 0.226070$

Δx +1550.19 Δy −359.77

$\Delta x = b.\sin t_{1-11a} = 2045.22 . 0.992109$ $\Delta y = b \cos t_{1-11a} = 2045.22 . 0.125377$

Δx +2029.08 Δy +256.42

$\Delta x = c_1.\sin t_{4-11a} = 1260.60 . 0.643767$ $\Delta y = c_1.\cos t_{4-11a} = 1260.60 . 0.765221$

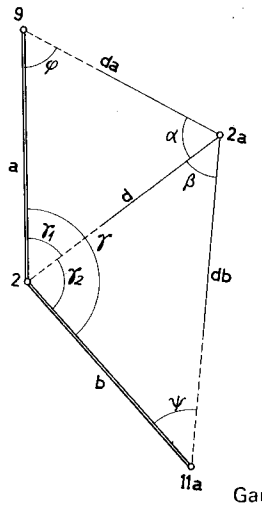
Δx + 811.53 Δy +964.64

	X		Y
B	+ 540.27		− 115.32
Δx	+ 1550.19	Δy	− 359.77
	+ 2090.46		− 475.09
1	+ 61.45		− 731.50
Δx	+ 2029.08	Δy	+ 256.42
	+ 2090.53		− 475.08
4	+ 1279.05		− 1439.64
Δx	+ 811.53	Δy	+ 964.64
	+ 2090.58		− 475.00
rata-rata 11a	+ 2090.52 m		− 475.06 m

Perbedaan antara tiga pasangan koordinat karena kesalahan pengukuran pada sudut yang lancip pada titik *11a*. Kesalahan rata-rata pada koordinat rata-rata menjadi ± 3 cm.

Cara 2: Penentuan titik secara pemotongan ke belakang

Pada penentuan titik secara pemotongan ke belakang ini kita letakkan alat ukur sudut pada titik yang baru dan kita ukur sudut-sudut ketiga titik yang sudah kita ketahui. Pada pemilihan titik-titik ini kita harus memperhatikan, agar tiga titik ini tidak terletak pada satu lingkaran yang sama. Jikalau hal ini tidak kita ketahui dengan pasti, maka periksalah dengan kompas tangan. Jikalau perlu kita memilih titik-titik yang lain, yang juga sudah kita ketahui koordinatnya.



Gambar 100

Contoh: Penentuan titik *2a* secara pemotongan ke belakang (lihat gambar 100 dan gambar 92).

Yang diketahui: koordinat-koordinat titik *2, 9* dan *11a.*

Penyelesaian:

Dengan sudut γ yang menjadi hasil pengurangan sudut-arah t_{2-9} dan t_{2-11a} kita tentukan kemudian sudut φ dan Ψ yang menyederhanakan penyelesaian ini atas dua segitiga. Sudut φ dan Ψ kita dapat dari nilai $(\varphi-\Psi)/2$ yang kita tentukan sebagai berikut:

$$\frac{\varphi+\Psi}{2} = \frac{360° - (\alpha+\beta+\gamma)}{2}$$

$$\tan\frac{\varphi-\Psi}{2} = \tan\frac{\varphi+\Psi}{2}.\frac{1-m}{1+m} \quad \text{dengan } m = \frac{a}{\sin\alpha} : \frac{b}{\sin\beta}$$

$$\text{dan } \varphi = (\frac{\varphi+\Psi}{2}) + (\frac{\varphi-\Psi}{2}) \qquad \Psi = (\frac{\varphi+\Psi}{2}) \quad (\frac{\varphi-\Psi}{2})$$

Jarak antara titik *2, 9* dan *11a* ke titik *2a* kita tentukan menurut rumus sinus sebagai berikut:

	X	Y		
Diketahui: 2	+ 825.91	+ 577.17	diukur: α	= 65°31′20″ = 65.5222°
9	+ 422.10	+ 2225.14	β	= 45°10′50″ = 45.1806°
11a	+ 2090.52	− 475.06		

Penentuan oleh koordinat-koordinat:

a = 1696.72 m ——— t_{2-9} = 346°13′55″

b = 1645.12 m ——— t_{2-11a} = 129°45′45″

$t_{2-11a} - t_{2-9} = \gamma$ = 143°31′50″

Dicari: φ dan φ

$\alpha + \beta + \gamma$ = 254°14′00″

360°00′00″

$\varphi + \Psi$ = 105°46′00″

$\frac{\varphi + \Psi}{2}$ = 52°53′00″

Selisih 1 = $\frac{a}{\sin\alpha} = \frac{1696.72}{0.910122} = 1864.28$

Selisih 2 = $\frac{b}{\sin\beta} = \frac{1645.12}{0.709332} = 2319.25$

$\frac{\varphi - \Psi}{2}$ = 8°10′42″

φ = 61°03′42″

Ψ = 44°42′18″

$d = \frac{a}{\sin\alpha} \sin\varphi = \frac{b}{\sin\beta} . \sin\Psi$

m = 0.803 824

1 − m = 0.196 176

1 + m = 0.803 824

selisih 1 . $\sin\varphi$ = d

1864.28 . 0.875141 =

d = 1631.50 m

selisih 2 . $\sin\Psi$ = d

2319.25 . 0.703457 =

d = 1631.50 m

$d_a = \frac{a}{\sin\alpha} \sin\gamma_1$ $d_b = \frac{b}{\sin\beta} \sin\gamma_2$

$\gamma_1 = 180° - (\alpha + \varphi)$ = 53°24′58″ selisih 1 . $\sin\gamma_1 = d_a$

$\gamma_2 = 180° - (\beta + \Psi)$ = 90°06′52″ 1864,28 . 0.8030 =

d_b = 1496.99 m

selisih 2. $\sin\gamma_2 = d_b$

2319.25 . 1.0000 =

d_b = 2319.25 m

Perhitungan koordinat-koordinat;

pada titik *2*: $t_{2-2a} = t_{9-2} + \gamma_1 - 180°$ = 39°38′53″ = 39.6481°

X

$\Delta x = d . \sin t_{2-2a}$

= 1631.50 . 0.638071 =

Δx	+ 1041.01
Station 2	+ 825.91
Station 2a	+ 1866.92

Y

$\Delta y = d . \cos t_{2-2a}$

= 1631.50 . 0.769978

Δy	+ 1256.22
Station 2	+ 577.17
Station 2a	+ 1833.39

pada titik *9*: $t_{9-2a} = t_{9-2} - \varphi$ = 105°10′13″ = 105.1703°

$\Delta x = d_a . \sin t_{9-2a}$

= 1496.99 . 0.965152

Δx	+ 1444.82
Station 9	+ 422.10
Station 2a	+ 1866.92

$\Delta y = d_a . \cos t_{9-2a}$

= 1496.99 . 0.261689 −

Δy	− 391.74
Station 9	+ 2225.14
Station 2a	+ 1833.40

pada titik *11a* $t_{11a-2a} = t_{2-11a} + \Psi + 180°$ = 354°28′03″ = 354.4675°

$\Delta x = d_b . \sin t_{11a-2a}$

= 2319.25 − 0.096410

Δx	− 223.60
Station 11a	+ 2090.52
Station 2a	+ 1866.92

$\Delta y = d_b . \cos t_{11a-2a}$

= 2319.25 . 0.995342

Δy	+ 2308.45
Station 11a	− 475.06
Station 2a	+ 1833.39

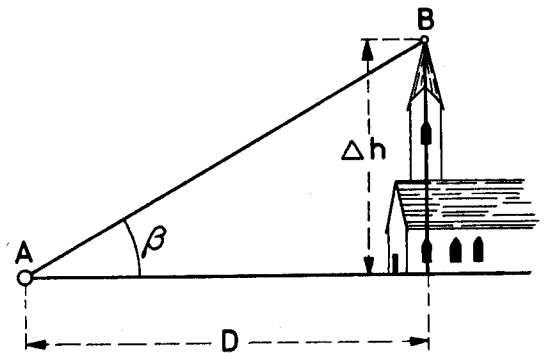
Koordinat rata-rata titik *2a:*

Ketiga koordinat rata-rata pada titik *2a* tidak membuktikan, bahwa letak titik itu kita ketahui betul-betul. Ketiga nilai atas dasar perhitungan di atas hanya menentukan, bahwa tidak terjadi kesalahan hitung. Kita tidak mempunyai ukuran sebagai kontrol. Kesalahan-kesalahan kecil pada perhitungan di atas berdasarkan atas pembulatan nilai masing-masing dan seharusnya akhirnya menjadi nol. Jikalau kita ingin mengontrol perhitungan secara pemotongan ke belakang, seharusnya kita mengambil titik ke-empat yang sudah diketahui. Kemungkinan lain, yaitu perlengkapan teodolit digunakan dengan **kompas-giro Wild GAK 1,** yang memungkinkan perubahan penentuan secara pemotongan ke belakang pada penentuan secara pemotongan ke muka yang memudahkan dan mempercepat perhitungan.

f) Daftar koordinat-koordinat (lihat gambar 92)

	X	Y
A	0	0
B	+ 540.27	— 115.32
2	+ 825.91	+ 577.17
9	+ 422.10	+ 2225.14
8	— 1815.22	+ 1611.95
7	— 1782.44	+ 370.08
6	— 2325.26	— 831.76
11	— 1870.93	— 2721.99
5	— 440.45	— 2137.05
1	+ 61.45	— 731.50
8	— 1815.22	+ 1611.95
7	— 1782.44	+ 370.08
3	— 1013.11	+ 431.81
2	+ 825.91	+ 577.17
11	— 1870.93	— 2721.99
10	+ 131.17	— 3221.07
4	+ 1279.05	— 1439.64
2	+ 825.91	+ 577.17
11a	+ 2090.52	— 475.06
2a	+ 1866.92	+ 1833.39
D	+ 1940.64	— 585.49

2.8.2. Pengukuran tinggi trigonometris



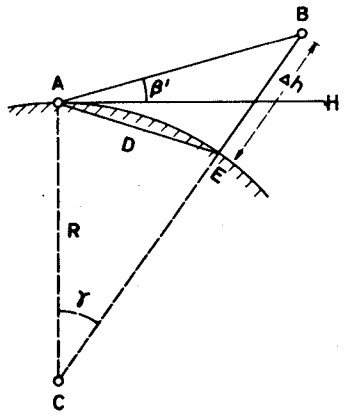
Gambar 101

Dengan triangulasi kita dapatkan jarak-jarak horisontal antara titik-titik tertentu. Jikalau kita kemudian mengukur sudut-tinggi kita dapat menentukan beda tinggi menurut rumus berikut:

$\Delta h = D \tan\beta$

seperti juga terlihat pada gambar 101 di atas. Rumus ini menjadi benar selama jarak terbatas pada beberapa ratus meter saja. Jikalau seperti biasa terjadi pada triangulasi jarak menjadi lebih besar, pengaruh kelengkungan bumi dan refraksi makin besar.

3) Kelengkungan bumi



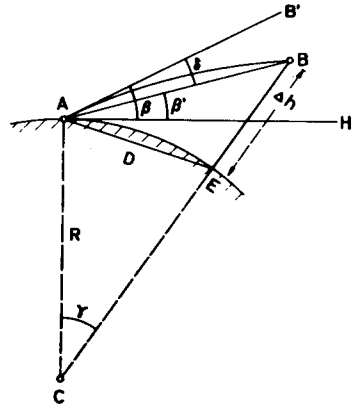
Gambar 102

Jikalau kita mengukur sudut β pada titik A untuk penentuan tinggi titik B nilai beda tinggi sebenarnya menjadi terlalu kecil karena kelengkungan bumi seperti terlihat pada gambar 102 di atas. Akan tetapi kesalahan ini dapat dibetulkan dengan perbandingan jari-jari bumi R dan jarak D yang sudah diketahui. Pembetulan dapat dilakukan menurut rumus berikut:

$$\Delta h = D \,.\, \tan\beta' + \frac{D^2}{2R}$$

b) Refraksi (melengkungnya sinar-cahaya)

Melengkungnya sinar cahaya mengakibatkan, bahwa garis bidik dari titik A ke titik B sebenarnya bukan merupakan garis lurus A-B melainkan oleh refraksi menjadi busur dari B ke A. Dengan kata lain, dari titik A kita membidik jurusan B' yang melenceng dari garis lurus A-B dengan sudut δ seperti terlihat pada gambar 103 di atas. Nilai sudut δ ini



Gambar 103

$\frac{1}{2} D_k/R$ dengan koefisien refraksi $k \cong 0.13$.

Atas dasar ini dapat kita menggunakan rumus berikut yang memperhatikan kelengkungan bumi maupun melengkungnya sinar cahaya seperti berikut:

$$\Delta h = D \tan\beta + \frac{1 - R}{2R} D^2$$

Karena koefisien refraksi k bisa berbeda oleh perbedaan suasana, maka kita mengukur tinggi selalu dengan jarak sependek mungkin, dan jikalau mungkin diperiksa dari dua titik dengan tinggi yang sudah diketahui. Pada daerah yang agak datar lengkung permukaan bumi juga membatasi jarak penglihatan. Dengan jarak yang lebih jauh dari 7 km suatu rambu ukur dengan tinggi 2 m sudah tidak dapat dilihat lagi, maka harus dibangun menara rambu-rambu.

Pada perhitungan tinggi harus diperhatikan, bahwa faktor koreksi oleh lengkung permukaan bumi dikurangi melengkungnya sinar cahaya selalu menjadi positif.

Nilai $\frac{1 - k}{2R} D^2$ pada jarak 0,1 km s/d 5 km

dapat diambil dari tabel berikut:

$D \frac{1-k}{2R} D^2$		$D \frac{1-k}{2R} D^2$		$D \frac{1-k}{2R} D^2$		$D \frac{1-k}{2R} D^2$		$D \frac{1-k}{2R} D^2$	
km		km		km		km		km	
0.1	0.00	1.0	0.07	2.0	0.28	3.0	0.63	4.0	1.12
0.2	0.00	1.1	0.08	2.1	0.31	3.1	0.67	4.1	1.18
0.3	0.01	1.2	0.10	2.2	0.34	3.2	0.72	4.2	1.23
0.4	0.01	1.3	0.12	2.3	0.37	3.3	0.76	4.3	1.29
0.5	0.02	1.4	0.14	2.4	0.40	3.4	0.81	4.4	1.36
0.6	0.02	1.5	0.16	2.5	0.44	3.5	0.86	4.5	1.42
0.7	0.03	1.6	0.18	2.6	0.47	3.6	0.91	4.6	1.48
0.8	0.04	1.7	0.20	2.7	0.51	3.7	0.96	4.7	1.55
0.9	0.06	1.8	0.23	2.8	0.55	3.8	1.01	4.8	1.61
1.0	0.07	1.9	0.25	2.9	0.59	3.9	1.06	4.9	1.68

c) Pelaksanaan pengukuran tinggi

Penentuan sudut-sudut vertikal baru kita lakukan sesudah sudut-sudut horisontal untuk triangulasi selesai, karena pengukuran sudut-sudut horisontal jangan sampai dihentikan setengah jalan. Suatu pengukuran yang dapat dilaksanakan sekali gus selalu lebih tepat daripada dalam beberapa kali. Sudut-sudut vertikal kita ukur pada tempat letak teropong B dan LB dan jikalau mungkin pada waktu yang berbeda juga, misalnya pagi — siang atau siang — sore untuk mengurangi ke-tidak-telitian pengaruh refraksi. Biasanya suatu titik selalu diukur dari dua segi.

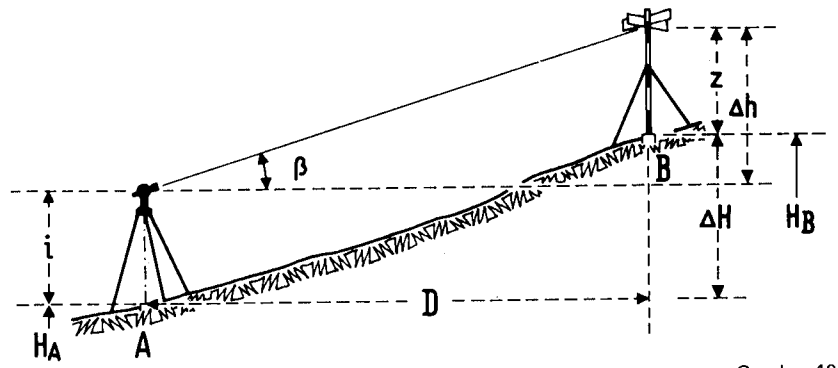
Karena biasanya tinggi alat ukur sudut berbeda dengan tinggi rambu ukur yang dibidik, pada perhitungan harus juga dicatat tinggi masing-masing sebagai contoh kita perhatikan titik/tugu *6* seperti sudah digunakan pada bab 2.5.3. (Metode dengan mengukur jurusan dan gambar 92.

Lingkaran vertikal pada alat ukur sudut Wild dari 0° s/d. 360° dibagi-bagi dengan nilai 0° pada zenit. Sudut vertikal pada kedudukan teropong B kita dapatkan dengan mengurangi pembacaan dengan 90° dan pada kedudukan teropong LB dengan mengurangi pembacaan dengan 270°. Baris kanan pada tabel berikut menentukan nilai rata-rata dua pembacaan itu. Pada baris

kontrol B + LB kita lihat, bahwa alat ukur sudut yang digunakan mempunyai suatu kesalahan indeks sebesar kira-kira 6". Kejadian ini sering timbul dán karena akan hilang pada penentuan nilai rata-rata tidak mempengaruhi pengukuran ini.

Sudut vertikal pada tugu 6 (z = 2,00 m; i = 1,40 m)					
tugu		kedudukan teropong B ° ′ ″	LB ° ′ ″	kontrol B + LB ° ′ ″	rata-rata oleh B dan LB ° ′ ″
7	PA	90 14 30	269 45 17	359 59 47	− 0 14 36
3	PB	86 04 11	273 55 35	359 59 46	+ 3 55 42
1	PA	98 17 20	261 42 28	359 59 48	− 8 17 26
5	PA	92 01 08	267 58 40	359 59 48	− 2 01 14
11	PB	82 12 25	277 47 24	359 59 49	+ 7 47 30
PA = papan atas; *PB* = papan bawah					

Perhitungan beda tinggi



Gambar 104

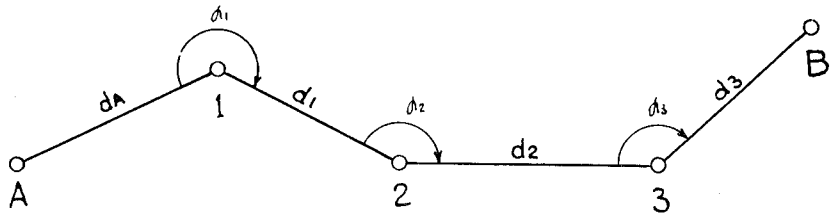
Jikalau kita perhatikan tinggi alat ukur sudut *i* dan tinggi rambu ukur *z* maka dapat kita mengguńakan rumus berikut:

$$\Delta H = D \,.\, \tan\beta + \frac{1 - k}{2R} D^2 + 1 - z.$$

Jikalau kita mengukur sudut vertikal antara titik *6* dan titik *11* bolak-balik maka kita mendapatkan contoh berikut:

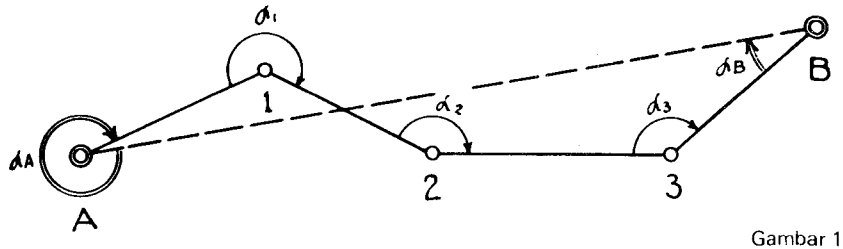
Contoh:	
dari titik 6 ka 11: β = + 7°47′30″ = 7,7917° I = 1.40 m z = 2.00 m D = 1944.04 m	dari titik 11 ke 6: β = − 7°44′40″ = 7,7444° I = 1.25 m z = 2.80 m
D . tanβ = 1944,04 . 0,136835 = D . tanβ + 266.01 m $\frac{1 - k}{2R}$. D² + 0.26 m + 266.27 m I − z − 0.60 m ΔH + 265.67 m	D. tanβ = 1944,04 . 0,135994 = − 264.38 m + 0.26 m − 264.12 m − 1.55 m − 265.67 m

2.8.3. Jaringan poligon



Gambar 105

Jikalau kita menghubungkan dua titik *A* dan *B* dengan beberapa garis lurus, kita dapatkan suatu rangkaian segi banyak atau poligon dengan titik-titik pengubah jurusan *1, 2* dan *3* seperti terlihat pada gambar 105 di atas. Kalau kita mengetahui kedudukan titik *A* dan jurusan *A→1* kita bisa menentukan titik-titik pengubah jurusan dalam perbandingan dengan *A* dan *B* dengan mengukur jarak d_a, d_1, d_2 dan d_3 dan dengan sudut α_1, α_2 dan α_3. Penggunaan poligon ini menjadi **poligon lepas** (poligon bebas) karena perhitungannya tidak dapat dibuktikan.
Kalau kita mengetahui titik *A* dan *B* kita dapatkan suatu kontrol pada titik *B*. Akan tetapi suatu kesalahan tidak dapat kita bagikan atas sisi-sisi dan sudut-sudut poligon tsb. Karena itu kita selalu mencoba meletakkan suatu poligon demikian rupa, sehingga sudut-arah pada titik *A* dan titik *B* diketahui. Maka poligon ini menjadi suatu **poligon terikat.**



Gambar 106

Jikalau kita dapat melihat langsung dari titik *A* ke titik *B* kita dapat memudahkan pekerjaan poligon terikat seperti terlihat pada gambar 106 di atas.
Sebagai bukti kita mendapatkan:

$$\alpha_A + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_B - (5 \times 180) = 0°00'00''$$

Jikalau timbul suatu kesalahan kecil akan kita bagi seragam atas semua sudut-sudut.

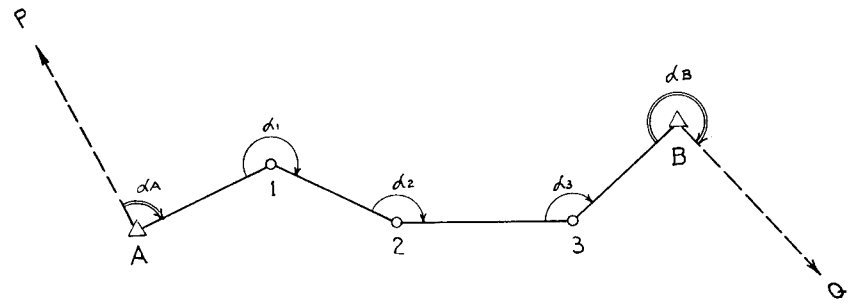
Contoh 1:

diukur		koreksi	dibetulkan
α_A	= 347°20.7′	− 0.7	347°20.0′
α_1	= 231°31.2′	− 0.8	231°30.4′
α_2	= 153°18.5′	− 0.7	153°17.8′
α_3	= 137°50.1′	− 0.8	137°49.3′
α_B	= 30°03.2′	− 0.7	30°02.5′
	= 900°03.7′		
5 × 180	= 900°00.0′		

koreksi = 3.7′ : 5 = 0.7′ + 0.2′ sisa

Ada lagi poligon yang titik mula dan titik akhirnya berhimpitan, berbentuk segi-banyak, disebut **poligon terikat sempurna,** lihat misalnya gambar 66.

Contoh 2:



Gambar 107

Pada suatu triangulasi kita menghubungkan titik *A* dan titik *B* dengan suatu poligon terikat, seperti terlihat pada gambar 107 di atas. Seperti pada contoh 1 dapat kita tentukan:

$$t_{P-A} + \alpha_A + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_B - (5 \times 180) = t_{B-Q}$$

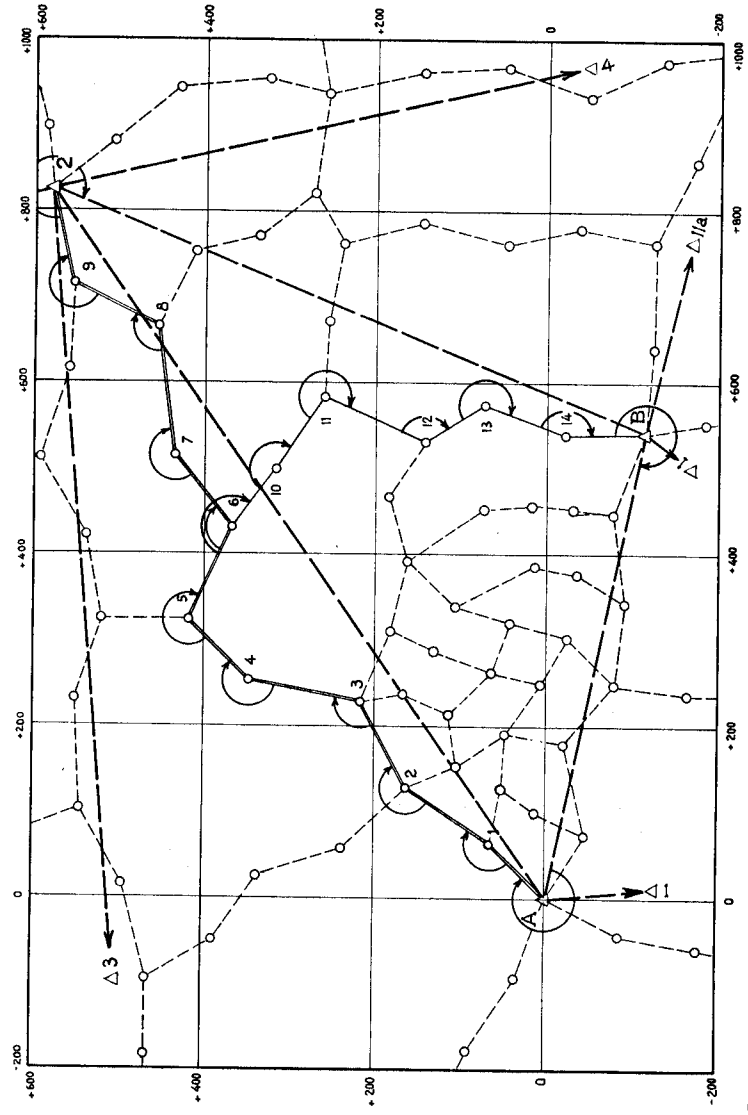
dengan t_{P-A} sebagai sudut-arah *P→A* dan t_{B-A} sebagai sudut-arah *B→Q*, dengan nilainya yang sudah kita ketahui:

$t_{P-A} = 154°10.2'$
$t_{B-Q} = 138°07.1'$

diukur		koreksi	
t_{P-A}	= 154°10.2′		154°10.2′
α_A	= 91°25.3′	− 0.7	91°24.6′
α_t	= 231°31.2′	− 0.7	231°30.5′
α_2	= 153°18.5′	− 0.7	153°17.8′
α_3	= 137°50.1′	− 0.6	137°49.5′
α_9	= 269°55.2′	− 0.7	269°54.5′
	1038°10.5′		1038°07.1′
− (5 × 180)	= 900°00.0′		
	138°10.5′		
t_{B-Q}	= 138°07′.1′		

koreksi = 3.4′ : 5 = 0.7′ − 0.1′ sisa

Jikalau timbul suatu kesalahan seperti pada contoh ini kita akan membaginya seragam atas semua sudut.



Gambar 108

Penentuan suatu jaringan poligon dapat kita bagi atas politon utama dan poligon cabang seperti terlihat pada gambar 108 di halaman berikut yang merupakan pembesaran bagian pada gambar 92.

Poligon utama: Pada contoh di atas poligon utama menghubungkan 2 tugu triangulasi. Pada gambar 108 di atas dapat kita lihat poligon utama sebagai berikut: △A → titik *1* s/d *9* → △2 atau △A → △B dsb.

Poligon cabang: menghubungkan dua titik poligon utama atau satu tugu triangulasi dengan salah-satu titik poligon utama. Pada gambar 108 di atas dapat kita lihat poligon cabang sebagai berikut: titik *6* → titik *10* s/d *14* → △B atau △A → △ titik *3* → titik *12* dsb.

Yang harus dihindarkan: Silangan antara dua poligon tanpa titik persekutuan pada silangan itu; DUa poligon yang sejajar dekat tanpa kadang-kadang saling berhubungan dan sisi-sisi yang pendek sekali pada poligon yang jauh.

Titik-titik selalu kita pilih demikian rupa, sehingga dapat terlihat dengan terang juga kaki rambu ukur yang akan didirikan dan agar kita dapat membidik sebanyak mungkin titik-titik sekeliling kedudukan alat ukur sudut. Terutama kalau kita akan melakukan detail survey dengan metode koordinat polar kita harus menyelesaikan semua pekerjaan pendahuluan sebelum mulai mengukur.

a) Pengukuran sudut-sudut

Sudut-sudut poligon dapat diukur teliti dengan menggunakan metode mengukur sudut cara repetisi seperti telah diterangkan pada bab 2.5.1.

Sebagai contoh pengisian buku ukur kita perhatikan poligon cabang dari titik *6* ke tugu triangulasi △B (lihat juga gambar 108).

Sudut-sudut diukur dengan teodolit Wild T 16, jarak-jarak diukur dengan pita ukur dan diperiksa secara optis (pada buku ukur nilai dalam kurung).

Sebagai keterangan kita selanjutnya memperhatikan pekerjaan pengukuran tsb. dengan teliti pada titik *6* sebagai contoh:

Pada peletakan teropong B: Bidik titik *6*, baca jarak (90,30 m); bidik tinggi alat ukur sudut *i* pada rambu ukur yang diletakkan pada titik *6*, setel nivo indeks dan baca lingkaran vertikal (97°44,0′).

Setel lingkaran horisontal berskala pada 0°00;0′, lepaskan klem penyetel putaran, bidik titik 6 dan ikat klem tsb. Kemudian bidik titik *11* dan baca lingkaran horisontal berskala (176°23,3′), lepaskan klem penyetel putaran, baca jarak (100,40 m), bidik tinggi alat ukur sudut pada rambu ukur yang diletakkan pada titik *11,* setel nivo indeks dan baca lingkaran vertikal (87°32,1′). sekarang putar teropong sedemikian rupa, sehingga kita dapatkan:

Peletakan teropong LB: Bidik titik 6, lepaskan klem penyetel putaran, bidik titik *11* dan baca lingkaran horisontal berskala (352°47,0′). Separuh dari pembacaan ini ialah sudut pada perhitungan poligon berikut:

titik alat sasaran	sudut horisontal pembacaan	sudut horisontal rata-rata	jarak	sudut vertikal pembacaan	sudut vertikal rata-rata	1 ± (1-2)
	o ′	o ′	m	o ′	o ′	m
5	0 00.0					
6	193 15.4	193 15.1	88.51			1.45
10	26 30.2		(90.30)	82 15.3	+ 7 44.7	
6	0 00.0		88.51	97 44.0	− 7 44.0	
			(90.30)			
10	176 23.3	176 23.5				1.38
			100.24			
11	352 47.0		(100.40)	87 32.1	+ 2 27.9	
10	0 00.0		100.20	92 27.2	− 2 27.2	
			(100.30)			
11	260 31.1	260 31.3				1.40
			129.37			
12	161 02.6		(132.10)	98 16.5	− 8 16.5	
11	0 00.0		129.34	81 43.1	+ 8 16.9	
			(132.00)			
12	123 51.3	123 50.7				1.43
			81.70			
13	247 41.4		(88.20)	105 48.7	−15 48.7	
12	0 00.0		81.70	74 50.1	+15 10.0	+1.00
			(87.70)			
13	232 59.8	233 00.1				1.35
			101.13			
14	106 00.3		(101.20)	88 20.5	+ 1 39.5	−1.00
13	0 00.0		101.10	91 05.0	− 1 05.0	
			(101.30)			
14	158 22.6	158 22.8				1.37
			94.26			
△B	316 45.7		(108.70)	68 15.7	+21 44.3	
14	0 00.0		94.29	111 43.9	−21 43.9	
			(108.60)			
△B	283 00.1	283 00.3				1.41
△A	206 00.5					

b) Sisi-sisi poligon

Sisi-sisi poligon sebaiknya selalu diukur dua kali panjangnya.

Misalnya kalau diukur dengan pita ukur ada baiknya, kita kontrol panjangnya secara optis dengan alat ukur sudut menurut bab 2.6. dan 2.7. (Pengukuran jarak). Sudut vertikal biasanya dibaca hanya pada kedudukan teropong B tetapi pada dua arah sisi poligon.

Jikalau suatu rintangan mengganggu pembidikan tinggi alat ukur sudut *i* pada rambu ukur maka kita catat hasil pengurangan *1-z* (*z* = pembacaan sebenarnya pada rambu ukur) dengan tandanya (+, —) pada buku ukur.

Dengan penggunaan teodolit universil Wild T 2 pada pengukuran poligon penyipatan akan kita lakukan sebagai berikut:

Kita bidik titik yang sebelah kiri dan setel lingkaran horisontal berskala pada titik *nol* dengan skala mikrometer disetel pada titik nol dan lingkaran horisontal berskala diputar sampai nilai 0° dan 180° ber-koinsidensi. Karena ini dalam praktek menjadi agak rumit maka sebaiknya kita memilih pembacaan pertama sedikit lebih besar dari nol, seperti terlihat pada contoh berikut (0°02′ 43″). Jarak-jarak diukur dengan baji optis Wild DM 1 dan sudut vertikal diukur dengan kedudukan teropong B dan LB.

Contoh: Teodolit universil Wild T 2 pada titik *10*

titik		sudut horisontal		jarak	sudut vertikal		l ± (l-z)
alat	sasaran	B	LB		pembacaan B, LB	sudut	
		° ′ ″	° ′ ″	m	° ′ ″	° ′ ″	m
	6	0 02 43	180 02 43	88.49	97 44 03	—7 44 03	
10				52	262 15 55	—7 44 05	
							1.45
	11	176 26 05	356 26 01	100.25	87 32 07	+2 27 53	
				27	272 27 56	+2 27 56	
sudut		176 23 22	176 23 18				
rata-rata		176 23 20					

Deret pembacaan:

	1. Jarak pertamakali	(88,49 m)	sasaran titik *6*
	2. lingkaran vertikal	(97°44′ 03″)	
kedudukan	3. lingkaran horisontal	(0°02′ 43″)	
teropong B	4. lingkaran horisontal	(176°26′ 05″)	sasaran titik *11*
	5. lingkaran vertikal	(87°32′ 07″)	
	6. jarak pertamakali	(100,25 m)	
	7. jarak keduakali	(100,27 m)	sasaran titik *11*
	8. lingkaran vertikal	(272°27′ 56″)	
kedudukan	9. lingkaran horisontal	(356°26′ 01″)	
teropong LB	10. lingkaran horisontal	(180°02′ 43″)	sasaran titik *6*
	11. lingkaran vertikal	(262°15′ 55″)	
	12. jarak keduakali	(88,52 m)	

Apakah kita mengukur jarak secara optis sebelum atau sesudah pengukuran sudut vertikal sebenarnya sama bobotnya. Yang penting ialah membaca kedua arah sudut horisontal dengan kedudukan teropong B dan LB berurutan segera.

c) Penentuan koordinat-koordinat

Pada penentuan atau perhitungan koordinat kita harus memperhatikan pembetulan sudut-sudut, sudut-arah, selisih koordinat, penentuan tinggi-nya dan pengawasan kesalahan kasar dan kesalahan sistematik.

Pembetulan sudut-sudut

Jumlah semua sudut termasuk sudut-arah sisi poligon pertama harus menjadi sudut-arah sisi poligon terakhir. Karena pada tiap-tiap penyipatan selalu timbul kesalahan, ketentuan ini dalam praktek tidak mungkin kita dapatkan. Akan tetapi kita dapat menentukan suatu batas ketelitian yang tidak boleh dilewati. Biasanya syarat ketelitian kita tentukan menurut rumus berikut:

$$1.5' \cdot \sqrt{n},$$

dengan *n* sebagai banyaknya sudut poligon yang disipat. Suatu kesalahan akan dibagi seragam atas semua sudut-sudut.

Sudut-arah

Sudut-arah kita tentukan dari jumlah suatu sudut yang diukur dengan sudut-arah sisi sebelumnya dikurangi 180°, misalnya:

$$t_{\Delta B-\Delta A} + \alpha\Delta A - 180° = t_{\Delta A-1}$$
$$t_{\Delta A-1} + \alpha_1 - 180° = t_{1-2}$$
$$t_{g-\Delta 2} + \alpha_{\Delta 2} - 180° = t_{\Delta 2-\Delta 4}$$

(lihat juga contoh 1: Politon utama dari ΔA ke Δ2 yang berikut. Jumlah Σ semua sudut α dan sudut-arah $t_{\Delta A-\Delta B}$ dikurangi 13 . 180°).

Selisih koordinat

Jarak dikalikan dengan sin *t* dan cos t menghasilkan △u dan △x pada sisi poligon masing-masing. Yang harus kita perhatikan dengan khusus yaitu tanda (+ , −) pada △y dan △x karena ketentuan kuadran masing-masing. Jumlah semua △y dan △x termasuk koordinat *y* dan *x* dari titik mula seharusnya koordinat titik terakhir. Suatu kesalahan kita bagi atas semua △y dan △x menurut perbandingan panjang sisi poligon masing-masing. Biasanya syarat ketelitian kita tentukan menurut rumus berikut:

$$t_D = 0.01 \cdot \sqrt{D}$$

dengan *D* sebagai panjang poligon seluruhnya.

Kesalahan keseluruhan f_D kita dapatkan dari kesalahan selisih koordinat $f_y = Y_{sebenarnya} - Y_{seharusnya}$ dan $f_x = X_{sebenarnya} - X_{seharusnya}$ dengan

$$f_D = \sqrt{fy^2 + fx^2}.$$

Pada contoh 1: Poligon utama dari △*A* ke △2 dan pada contoh 2a: Poligon cabang dari titik *6* ke △B berikut dihitung selisih koordinat dengan kalkulator elektronis.

Catatan sudut-arah yang dicetak tebal dihitung atas dasar koordinat berkutub dan koordinat-koordinat yang dicetak tebal dari perhitungan-perhitungan lama.

Contoh 1: Poligon utama dari △*A* ke △2 (lihat juga gambar 108)

tugu	sudut c	sudut-arah t	sisi d	sin t	cos t	± △x	± △y	koordinat X	koordinat Y
	° ′	° ′	m						
△B		282 03.0							
	6								
△A	302 12.3							0.00	0.00
						60			
		44 15.6	91.12	0,697715	0,716180	+ 63.59	+ 65.26		
1	168 51.5							+ 63.60	+ 65.26
						3	8		
		33 07.4	118.06	0,546443	0,837496	+ 64.51	+ 98.87		
	.5								
2	208 28.3							+ 128.13	+ 164.14
						5			
		61 35.9	114.85	0,879635	0,475650	+ 101.03	+ 54.63		
	4								
3	127 50.0							+ 229.18	+ 218.77
						8	7		
		9 26.3	130.22	0,163945	0,986463	+ 21.36	+ 126.46		
	9.1								
4	216 08.7							+ 250.56	+ 347.24
						7			
		45 35.4	98.20	0,714350	0,699788	+ 70.15	+ 68.72		
	4								
5	248 01.1							+ 320.73	+ 415.96
						8	7		
		113 36.8	117.28	0,916270	0,400562	+ 107.46	− 46.98		
	7								
6	118 55.4							+ 428.21	+ 368.99
						5			
		52 32.5	108.75	0,793796	0,608184	+ 86.33	+ 66.14		
	3								
7	209 40.0							+ 514.56	+ 435.13
						80	8		
		82 12.8	148.15	0,990799	0,135484	+ 146.78	+ 20.07		
	10.1								
8	127 09.8							+ 661.36	+ 455.21
						9			
		29 22.9	113.70	0,790625	0,871371	+ 55.78	+ 99.08		
	4.2								
9	228 43.9							+ 717.15	+ 554.29
						6			
		78 07.1	111.12	0,978575	0,205891	+ 108.74	+ 22.88		
	3.1								
△2	269 12.8							+ 825.91	+ 577.17
		167 20.2							
△4									

$\Sigma\alpha$ = 167 16.8 [d] = 1152.06 [△x] = 825.73 577.13 = [△y]

seharusnya = 167 20.2 seharusnya = 825.91 577.17

selisih = − 3.4 f_x = − 0.18 −0.04 = f_y

kesalahan = 1.5′ √11 = 5′ batas kesalahan = 0.01 √1152 = 34 cm

fd = 18 cm

Contoh 2a: Poligon cabang dari tit · 6 ke $\triangle B$ (lihat juga gambar 108)

tu-gu	sudut α	sudut-arah t	sisi d	sin t	cos t	Δx +	Δx −	Δy +	Δy −	koordinat X	koordinat Y
	° ′	° ′	m								
5											
		113 36.8									
	5										
6	193 15.1									+428.21	+368.90
		126 52.3	88.51	+0.79 998	−0.60 002	70.81			53.11		
	8										
10	176 23.5									+499.02	+315.88
		123 16.1	100.22	+0.83 611	−0.54 856	83.80			54.98		
	7										
11	260 31.3								4	+582.82	+280.90
		208 47.8	129.35	−0.40 349	−0.91 498		52.19		118.35		
	1.0										
12	123 50.7									+530.63	+142.56
		147 38.8	81.70	+0.53 514	−0.84 476	43.72			69.01		
	5										
13	233 00.1									+574.35	+ 73.55
		260 39.3	101.11	−0.35 273	−0.93 572		35.66		94.61		
	3.1										
14	158 22.8									+538.69	− 21.06
		179 02.4	94.27	+0.01 676	−0.99 985	1.58			94.26		
	6										
$\triangle B$	283 00.3									+540.27	−115.32
		282 03.0									
$\triangle A$											
$\Sigma\alpha$	= 282 00.6	595.16				+112.06		484.32		+112.06	−484.31
seharusnya	= 282 03.0		seharusnya	=		112.06		484.31			
selisih	= − 2.4		selisih	=		0		+ 1			

Perhitungan beda tinggi

Dengan panjang sisi poligon dan sudut-sudut vertikal yang diukur dengan kedudukan teropong B dan LB kita dapat menentukan beda tinggi menurut rumus berikut (lihat juga gambar 104):

$\triangle H = D \cdot \tan\beta + I - z.$

dengan *i* sebagai tinggi alat ukur sudut dan *z* sebagai tinggi garis bidik pada rambu ukur. Jumlah beda tinggi $\triangle h$ seharusnya merupakan beda tinggi $\triangle d$ titik mula dan titik akhirnya. Suatu kesalahan yang timbul kita bagi atas semua beda tinggi $\triangle h$ menurut perbandingan.

Contoh 2b: Perhitungan beda tinggi dari titik 6 ke $\triangle B$ dengan menggunakan kalkulator elektronis (lihat juga gambar 108)

tu-gu	sudut vertikal β	I − z	sisi d	tan β	beda tinggi +	beda tinggi −	tinggi	beda tinggi mistar hitung +	beda tinggi mistar hitung −
	° ′		m						
6							708.15		
					4				
	+ 7 44.3	—	88.51	0.13 588	12.03			12.00	
10							720.19		
	+ 2 27.5	—	100.22	0.04 295	4.30			4.30	
11							724.49		
						1			4.4
	− 8 16.7	—	129.35	0.14 550		18.82			18.85
12							705.68		
		—		0.28 320		3			
			81.70			23.14			23.10
	+ 15 10.0	+ 1.00		0.27 107					
13							682.55		
	+ 1 39 5	−1.00		0.02 896	1				
			101.11		1.90			1.93	
	− 1 05 0	—		0.01 891					
14							684.46		
					9			1	
	+ 21 44.1	—	94.27	0.39 867	37.58			37.60	
$\triangle B$							722.05		
					+55.81	−41.96	+ 1340	+55.83	−41.95
					−41.96			−41.95	
					+13.85		+ 13.00	+13.88	
				seharusnya =	+13.90	selisih =	−5	+13.90	Diff = −2

Kesalahan kasar

Kesalahan kasar bisa timbul juga pada seorang dengan pengalaman yang banyak. Kesalahan kasar timbul pada penentuan sudut-sudut maupun penentuan koordinat-koordinat. Yang penting ialah di mana atau bagaimana dapat kita dapat mengendahkannya dalam perhitungan-perhitungan. Suatu kesalahan kasar pada sudut-sudut kita kendahkan dalam perhitungan dengan penentuan azimut sekali ke muka dan sekali ke belakang. Titik potong kedua arah ialah kesalahannya. Bisa juga terjadi kesalahan salin sudut-arah pertama atau kesalahan penentuan koordinat pada titik mula.

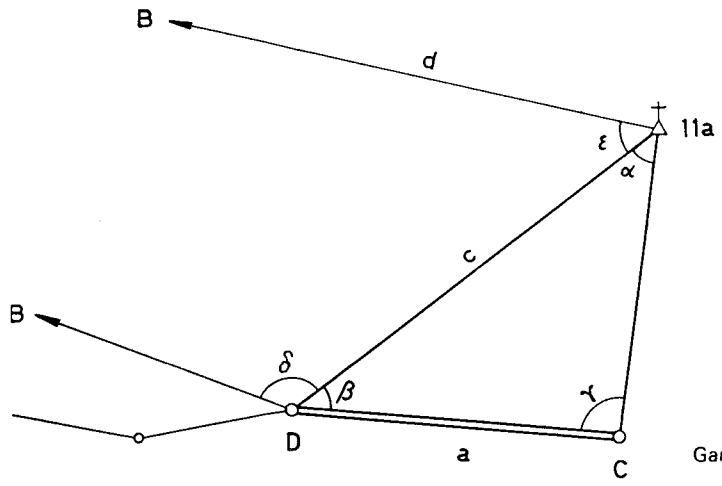
Suatu kesalahan jarak yang kasar timbul pada kesalahan akhir f_x dan f_y pada selisih koordinat Δy dan Δx. Pada sisi poligon dengan pertandingan f_x/f_y kira-kira sama dengan perbandingan $\Delta y/\Delta x$. Tetapi memang harus dikatakan, bahwa ini tidak mungkin pada poligon yang hampir lurus karena perbandingan $\Delta y/\Delta x$ selalu sama.

Suatu kesalahan kasar pada sisi poligon timbul juga pada perhitungan beda tinggi, yang ada kemungkinan mengendahkannya. Suatu penyipatan di lapangan baru kita ulangi jikalau kita tahu betul, bahwa kesalahan kasar itu tidak ada pada/dalam perhitungan.

Kesalahan sistematik

Karena kesalahan sistematik pada pengukuran sudut biasanya kecil sekali, maka pada perhitungan tidak timbul kesulitan. Akan tetapi pengukuran jarak sering mengalami kesalahan yang sistematis oleh pita ukur yang sedikit terlalu panjang atau pendek atau kurang tertarik; atau pada pengukuran secara optis konstante pengalian tidak betul-betul 100. Karena itu kalau misalnya pada panjang poligon yang seluruhnya 1300 m satu kesalahan sebesar 37 cm dapat dibagi demikian rupa, sehingga dibetulkan tiap-tiap 100 m dengan 3 cm dsb. Pembetulan ini dapat dilakukan pada semua sisi poligon lainnya yang diukur dengan cara yang sama.

d) Pengikatan kepada titik-titik yang tidak dapat dicapai



Gambar 109

Pada penentuan titik secara pemotongan ke muka pada bab 2.8.1. (Jaringan triangulasi sederhana) kita telah menentukan titik yang tidak dapat dicapai *11a.* Kita sekarang ingin meletakkan poligon dari titik *11a* ke $\triangle B$ seperti terlihat pada gambar 109 di atas. Atas dasar ketentuan, bahwa kita dapat melihat dari titik *D* titik *11a* maupun $\triangle B$ kita dapat mengukur sudut δ.
Kita juga dapat mengukur sudut β dan γ pada segitiga *D — 11a — C.* Kemudian dapat kita menghitung sudut α dan mengukur sisi segitiga *a.*

		X	Y	
diketahui	11a +	2090.52	— 475.06	α = 46°29.7′
	B +	540.27	— 475.06	β = 41°40.0′
	Δx = —	1550.25		γ = 91°50.3′
			Δy = + 359.74	δ = 125°03.5′
				a = 135.10 m

dicari: koordinat titik *D* dari titik *11a*

$$\tan t_{11a-B} = \frac{\Delta x}{\Delta y} \qquad d = \frac{\Delta x}{\sin t} = \frac{\Delta y}{\cos t}$$

$$\frac{-1550{,}25}{359{,}74} = -4{,}309362 \qquad \frac{-1550{,}25}{-0{,}974114} = d \qquad \frac{359{,}74}{0{,}226056} = d$$

$t_{11a-B} = 283°03.9'$ $\quad d = 1591.44$ $\quad d = 1591.44$

Segitiga D-11a-C Segitiga B-11a-D

$$c = \frac{a}{\sin\alpha} \sin\gamma \qquad \sin B = \frac{c}{d} \sin\delta$$

$$= \frac{135.10}{0.725314} \cdot 0.999485 = \frac{186.17}{1591.44} \cdot 0.818568$$

$$= 0.095758$$

B = 5°29.0′
δ = 125°03.5′
B + δ = 130°33.2′
ε = 49°26.8′

c = 186.17 → B = 5°28.2′

$t_{11a-D} = t_{11a-B} - \varepsilon = 233°37.1'$

$\Delta x = c \cdot \sin t_{11a-D}$ $\qquad \Delta y = c \cdot \cos t_{11a-D}$

$= 186.17 \cdot -0.805083$ $\qquad = 186.17 \cdot -0.593162$

Δx	= — 149.88	Δy = —110.43
11a. X	= +2090.52	Y = —475.06
D X	= +1940.64	Y = —585.49

Kontrol: *c* dan t_D.11. dihitung dari koordinat *D* dan *11a; t_{D-a}* dari koordinat *D* dan *B*; δ dari hasil pengurangan sudut-arah; *a* dari *c* dan sudut β.

	X	Y
D +	1940.64	— 585.49
11a +	2090.52	— 475.06
11a-D +	149.88	+ 110.43

	X	Y
B +	540.27	— 115.32
B-D —	1400.37	+ 470.17

D-11a D-B

$\Delta x = c \cdot \sin t_{11a-D}$ $\qquad a = c \dfrac{\sin\alpha}{\sin\gamma}$

$$+\ 186.17\ .\ -0.805083 = -149.88$$

$$\tan t_{11a\text{-}D} = \frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{-149.88}{-110.43} \quad \frac{-1400.37}{470.17} \quad 186.17\ .\ \frac{0.725314}{0.999485}$$

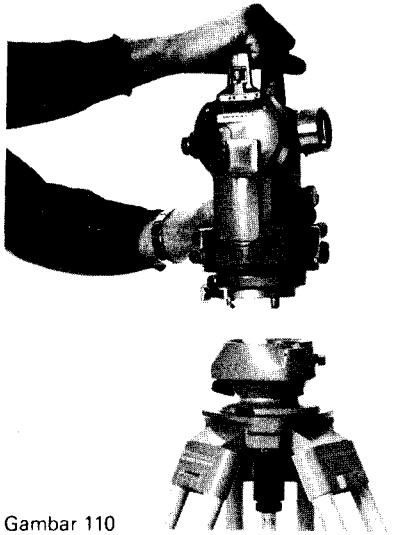
$$t\ \ 53°37.0' \qquad 288°33.5'$$

$$c = \frac{\Delta y}{\cos t} = \frac{-110.43}{-0.593162} \quad \begin{matrix} t_{D\text{-}11a} & 53°37.0' \\ -\delta & -125°03.5' \end{matrix} \qquad a = 135.10\ \text{m betul}$$

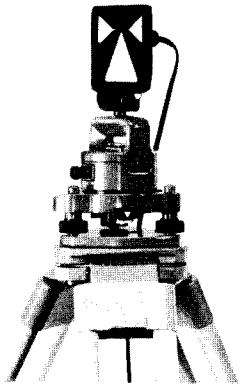
$$c = 186.17 \qquad t_{D\text{-}B}\ \ 288°33.5'\ \text{betul}$$

8) Pengukuran poligon dengan pemusatan paksa

Contoh pada bab 2.8.3. Jaringan poligon, b) Sisi-sisi poligon, telah dilakukan pengukuran sudut dengan ketelitian 1". Jikalau kita bayangkan, bahwa 1" pada suatu jarak yang 100 m berarti suatu putaran teropong sebesar 0,5 mm, maka dalam praktek pekerjaan poligon ketelitian 1" sebenarnya sudah terlalu teliti dan menambah dan mempersulit perhitungan saja. Sudah pada peletakan alat ukur sudut di pusat suatu tugu, dan pada peletakan rambu sejajar anting di pusat titik masing-masing kesalahan yang kita perbuat menjadi jauh lebih besar. Maka kita tahu, bahwa terutama kesalahan-kesalahan pada pemusatan mempengaruhi ketelitian pada penyipatan poligon, khususnya pada sisi-sisi poligon yang pendek. Karena biasanya sisi-sisi poligon yang pendek timbul pada penyipatan yang penting seperti penyipatan kota, proyek jalan dsb. yang harus teliti sekali. Maka kita harus menggunakan pelengkapan yang khusus.

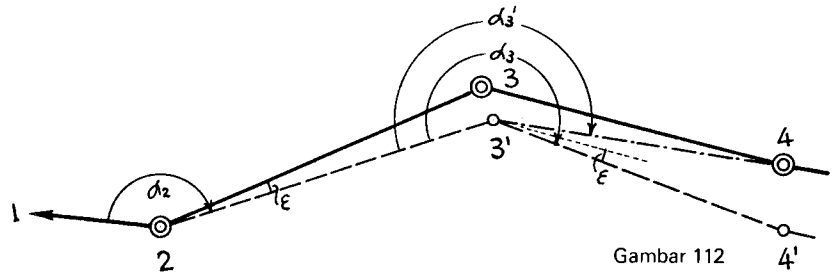


Gambar 110



Gambar 111

Rambu ukur yang biasanya digunakan, diganti dengan dua tanda sasaran yang dibuat demikian rupa, sehingga dapat dipasang pada salah satu statif seperti alat ukur sudut juga. Kita juga menggunakan tiga statif, tempat kita dapat memasang tanda sasaran dan alat ukur sudut berganti-ganti, seperti terlihat pada gambar 110 dan gambar 111 di atas. Pelaksanaan penyipatan sekarang dilakukan seperti berikut: Sesudah pembacaan-pembacaan pada suatu titik/tugu selesai kita mengangkat bagian atas teodolit dan membawanya ke titik/tugu berikut. Di situ kita mengangkat tanda sasaran dari statifnya dan memasang teodolit, tanda sasaran kemudian diletakkan pada statif teodolit lama. Dengan cara ini pemusatan statif masing-masing hanya diperlakukan satu kali, sehingga mengurangi pengaruh kesalahan pemusatan alat ukur sudut maupun rambu ukur. Suatu kesalahan hanya terjadi karena titik/tugu yang salah dipusatkan. Sebaliknya dengan cara tanpa pemusatan paksa berakibat penggeseran/pembelokan seluruh poligon.



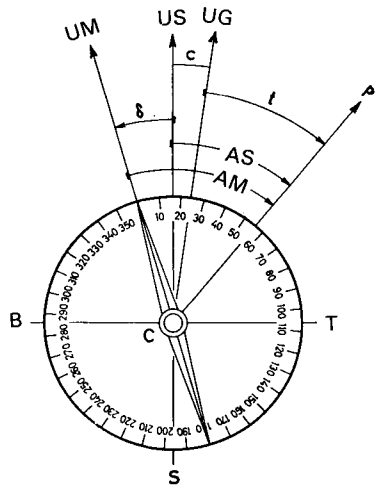
Gambar 112

Contoh: Misalkan sudut α_2 pada gambar 112 di atas salah karena mistar pada titik *3* kurang dipusatkan. Besaran kesalahan menjadi ε. Tanpa perlengkapan pemusatan paksa kita sekarang meletakkan alat ukur sudut pada titik 3 dan mengukur sudut α_3. Karena ditambah pada arah 2 — 3' yang sebenarnya salah, arah 3 — 4 juga akan salah sebesar ε dan menggeser titik *4* ke *4'* dsb. Pada perlengkapan dengan pemusatan paksa alat ukur sudut juga diletakkan pada titik 3' yang sebenarnya salah tetapi kesalahan ini tidak mempengaruhi titik *2* maupun titik *4*. Perambatan kesalahan tidak terjadi.

2.8.4. Pengukuran poligon kompas

Walaupun pengukuran poligon kompas biasanya tidak termasuk pengetahuan 'Penggunaan alat-alat ukur tanah pada praktek' tetapi kita memperhatikannya juga untuk menerangkan keuntungannya dibandingkan dengan poligon yang biasa.

Seperti pada alat penyipat datar automatis pembidikan horisontal dibantu oleh gaya tarik ke bumi, maka jarum kompas tertarik ke kutub utara magnetis oleh magnetisme alam.



Gambar 113

Jarum kompas yang berputar bebas selalu menunjuk arah **kutub utara magnetis** *(UM)* seperti terlihat pada gambar 113 sebelah kiri. Dibandingkan dengan jurusan **kutub utara geografis** *(US)* menurut ilmu bumi maka timbul suatu sudut sebesar δ yang dinamakan **deklinasi.** Deklinasi berhubungan dengan jauhnya jarak ke kutub-magnetis, maka perubahan pada pergerakan dari barat ke timur dan sebaliknya di Indonesia hanya 0,7′ untuk 10 km, dengan tanda plus ke barat dan tanda minus ke timur. Deklinasi juga mengalami **perubahan harjan** $\Delta\delta$ di Indonesia kira-kira 3′ s/d 4′. Deklinasi rata-rata untuk Indonesia (Semarang) ialah $+4°30'$. Pada penggambaran poligon dengan kompas harus juga diperhatikan sistim proyeksi peta oleh karena proyeksi meridian bisa berbeda dengan kutub utara geografis oleh **konvergensi meridian** c.

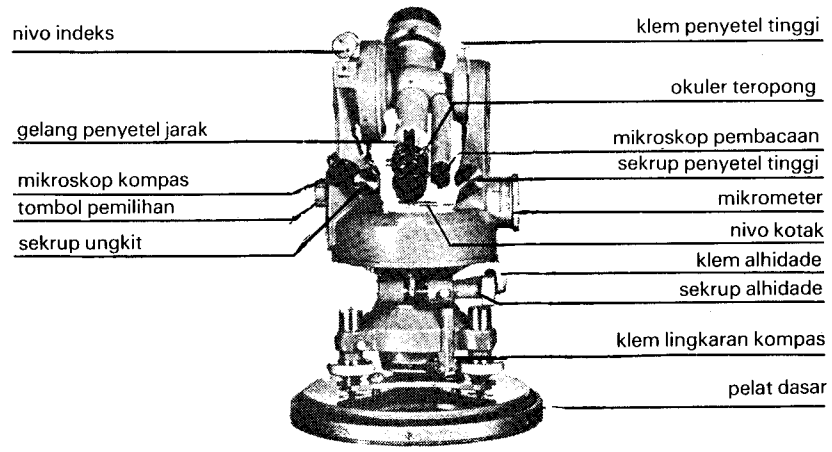
Pada penggambaran suatu arah *t* sebenarnya harus diperhatikan pembetulan sebagai berikut (lihat juga gambar 113):

$$\pi = AM \pm c \pm (\delta \pm \Delta\delta)$$

Koreksi ini pada praktek dapat disederhanakan demikian rupa, sehingga deklinasi dan konvergensi meridian pada suatu lapangan terbatas tidak berubah dan dapat dihitung jumlahnya sebagai suatu faktor tetap. Sering juga, misalnya pada suatu poligon dengan koordinat titik mula dan titik akhirnya sudah diketahui, kita sama sekali tidak perlu memperhatikan konvergensi meridian.

Suatu sifat jarum kompas yang harus diperhatikan juga dan yang berbeda dari negara ke negara yaitu **inklinasi,** kemiringan jarum kompas dari bidang horisontal. Inklinasi ini pada umumnya ditiadakan dengan bobot kecil yang dipasang pada jarum demikian rupa, sehingga jarum kompas dapat diputar horisontal betul.

Biasanya kompas menjadi tidak begitu teliti oleh ex-sentrisitas jarum dan pembacaan pada lingkaran dan kita tidak dapat mengharapkan suatu nilai yang lebih tepat daripada 6′



Gambar 114

Pada **teodolit kompas Wild TO,** lihat gambar 114 di atas kerugian-kerugian ini ditiadakan. Di bawah lingkaran horisontal berskala dipasang sebuah magnit yang automatis memutar garis nol pada skala ke kutub utara magnetis. Pengaruh ex-sentrisitas lingkaran ditiadakan dengan pembacaan koinsidensi, yang dilakukan dengan putaran teromol mikrometer. Ketelitiannya $\pm$ 1′ (lihat juga gambar 53).

Dengan memakai teodolit kompas Wild TO dapat kita lakukan semua keuntungan dari pengukuran poligon dengan kompas tanpa mengalami kekurangnya. Kemudian keuntungan ini kita perhatikan pada bab a) berikut.

a) Rumus-rumus pada perambatan kesalahan

Keuntungan memakai kompas pada poligon ialah, bahwa tiap-tiap sisi poligon diukur sudut-arahnya tersendiri, tidak tergantung pada sisi poligon sebelumnya. Oleh karena itu tidak terdapat pembawaan kesalahan dalam sudut-arah pada tiap-tiap sisi poligon, seperti pada poligon dengan teodolit (lihat juga bab 2.3.5. Perambatan kesalahan).

Pergeseran suatu sisi poligon pada poligon yang lepas menjadi poligon dengan teodolit kompas:

$$q = \pm \frac{m}{p} \cdot \frac{D}{\sqrt{n^1}}$$

Dan pada poligon dengan teodolit:

$$q' = \pm \frac{m'}{p} \cdot D \cdot \sqrt{\frac{n'}{3}}$$

Dengan m dan m' berarti kesalahan rata-rata kuadratis pada satu arah, D = panjang poligon dan n atau n' = banyak titik-titik di antara titik mula dan titik akhirnya.

Atas dasar dua rumus ini kita boleh menentukan: Pada poligon dengan teodolit sebaiknya kita memilih sisi poligon yang panjang, dan pada poligon dengan teodolit kompas kita pilih banyak sisi poligon yang agak pendek.

Perbandingan pergeseran pada poligon yang lepas q dan q' atas dasar dua rumus di atas kemudian menjadi:

$$\frac{q}{q'} = \frac{m}{m'} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{n^1} \cdot \sqrt{n'}}$$

Dalam membandingkan teodolit kompas Wild *TO* dan skala-teodolit Wild *T 16* maka dapat kita isi nilai-nilai berikut:

m = SO" (ketelitian pembacaan Wild *TO*) = kesalahan rata-rata Kuadratis pada satu arah.

m' = S" (ketelitian pembacaan Wild *T 16*) = kesalahan rata-rata kuadratis pada suatu sudut.

d = panjang rata-rata suatu sisi poligon dengan teodolit kompas.

d' = panjang rata-rata suatu sisi poligon dengan teodolit.

Jikalau kita pada poligon yang lepas menentukan d' dengan jarak 100 m maka perbandingan q/q' menjadi:

panjang sisi D	panjang poligon yang lepas 500	1000	1500	2000	3000	4000	5000 m
d = 20 m	1.4	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
d = 50 m	2.6	1.2	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2
d = 100 m	3.4	1.7	1.3	0.8	0.6	0.4	0.3

Kita lihat, bahwa ketelitian yang sama $q/q' = 1$ dengan teodolit kompas pada sisi poligon 20 m sudah timbul pada panjang poligon lepas 300 m, kemudian pada sisi 50 m panjang poligon seluruhnya 1250 m dan pada sisi 100 m panjang seluruhnya 1800 m.

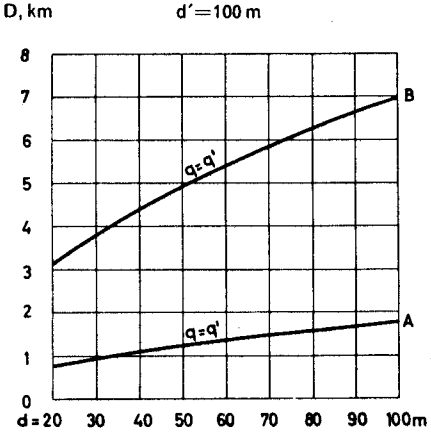
Perbandingan pergeseran pada poligon terikat _____ kita tentukan menurut rumus berikut:

$$\frac{q}{q'} = \frac{m}{m'} \cdot \frac{\sqrt{48}}{\sqrt{n\text{-}1} \cdot \sqrt{n'}}$$

Tercapailah tabel berikut:

panjang sisi D	panjang poligon terikat 3000	4000	5000	6000	7000 m
d = 20 m	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4
d = 50 m	1.7	1.2	1.0	0.8	0.7
d = 100 m	2.3	1.8	1.4	1.2	1.0

Jelaslah, bahwa pada poligon terikat keuntungan poligon dengan teodolit kompas hampir tidak ada, karena ketelitian yang sama pada poligon dengan teodolit $q/q' = 1$ timbul pada panjang poligon 3000 m dengan sisi 20 m, kemudian pada panjang poligon 5000 m dengan sisi 50 m dan pada panjang poligon 7000 m dengan sisi 100 m.



Pada gambar 115 di sebelah kiri kita lihat perbandingan ini dengan *A* pada poligon yang lepas dan *B* pada poligon terikat dengan ketentuan, bahwa panjang sisi pada poligon dengan teodolit selalu menjadi s' = 100 m.

Gambar 115

Kejadian ini menunjukkan, bahwa teodolit kompas Wild TO dengan ketelitian pembacaan hanya sepersepuluh dari skala-teodolit Wild T 16, masih unggul juga pada poligon yang panjang dengan sisi-sisinya yang pendek seperti terjadi misalnya pada lembah yang sempit, pada hutan atau pada sungai di hutan.

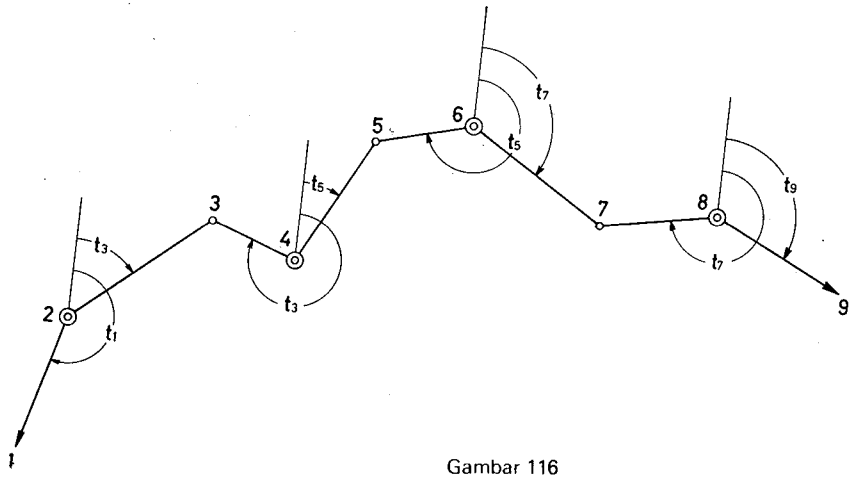
Perbandingan ini kemudian tidak boleh menjadi alasan berpendapat, bahwa poligon dengan teodolit kompas selalu cocok dalam hal poligon panjang. Karena pekerjaan dengan banyak sisi-sisi poligon yang pendek menjadi lebih berat dibanding dengan beberapa sisi-sisi poligon yang panjang pada poligon dengan teodolit. Kemudian harus juga diperhatikan, bahwa kompas dapat mengalami gangguan oleh medan magnetis, aliran listrik bertekanan tinggi dsb.

Pengalaman juga memperlihatkan, bahwa penggeseran ke samping pada poligon dengan teodolit biasanya agak kecil. Maka dapat dihindari dengan

penggunaan poligon dengan pemusatan paksa atau penentuan azimut dengan cara melompat tiap satu titik sudut (springstatien) seperti diterangkan pada bab berikut.

b) Poligon dengan cara melompat tiap satu titik sudut (springstatien)

Keuntungan pada cara ini adalah kecepatan pada pelaksanaan poligon dengan melompat tiap satu titik sudut, karena penggunaannya hampir seperti pada poligon dengan teodolit.



Gambar 116

Seperti terlihat pada gambar 116 di atas kita akan mengukur dari titik *2* sudut-arah dan jarak ke titik *1* dan ke titik *3*. Jikalau kita mengetahui titik *1* dengan pasti kita sekarang dapat menggambar letak titik *2* dan titik *3*, maka kita meletakkan alat ukur sudut langsung pada titik *4*. Dari titik *4* ini kita mengukur sudut-arah dan jarak ke titik *3* dan ke titik *5*. Karena kita mengukur tiap-tiap sudut-arah berhubungan dengan kutub utara magnetis, maka kesalahan pembacaan tidak akan terbawa dan pergeseran poligon ke samping tidak mungkin. Yang bisa terjadi hanya pergeseran sejajar. Cara ini juga menghemat waktu karena pekerjaan meletakkan alat ukur sudut hanya diadakan pada tiap titik kedua.

2.8.5. Pengukuran guna pembuatan peta

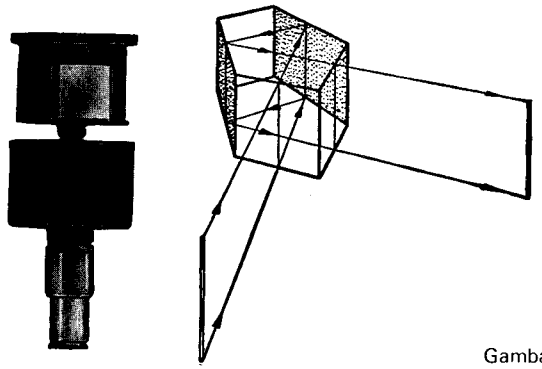
Yang dibicarakan sampai sekarang dalam buku ini menjadi dasar-dasar pengukuran, yaitu sejumlah titik-titik atau tugu tertentu dengan koordinatnya dan tingginya. Tujuan pengukuran memang jaringan triangulasi dilengkapi dengan data-data sehingga kita dapat menggambar peta. Tindakan ini

dapat mengikuti tiga cara, yaitu: Pengukuran koordinat siku-siku (pengukuran ortogonal), pengukuran dengan koordinat polar dan fotogrametri-udara.

a) Pengukuran koordinat siku-siku (pengukuran ortogonal)

Pada suatu garis pengukuran dengan titik mula dan titik akhir sudah kita ketahui, kita mengukur semua titik yang ingin kita ketahui siku-siku pada garis pengukuran. Kita akan mencatat nilai (abzis) pada garis pengukuran secara terus-menerus dan jarak titik-titik yang dicari (ordinat) demikianlah kita akan dapat menggambar peta (lihat juga gambar 118 berikut).

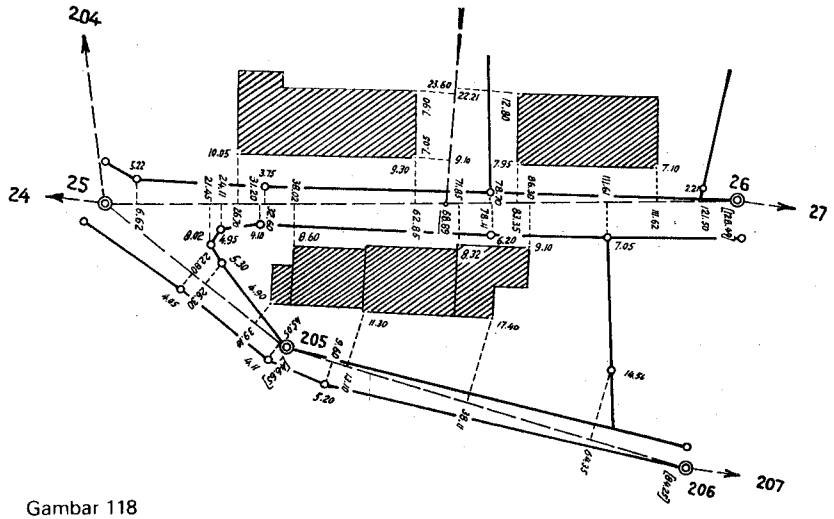
Prisma segilima (Prisma pentagonal)



Gambar 117

Pada sistim pengukuran koordinat siku-siku pada umumnya kita menggunakan prisma segilima beserta tiangnya. Pada prisma ini dua sisi yang bersudut 45° dibuat seperti cermin. Jika sinar cahaya masuk, maka dibiaskan demikian rupa, sehingga arah masuk siku-siku pada arah keluar, seperti terlihat pada gambar 117 di atas.

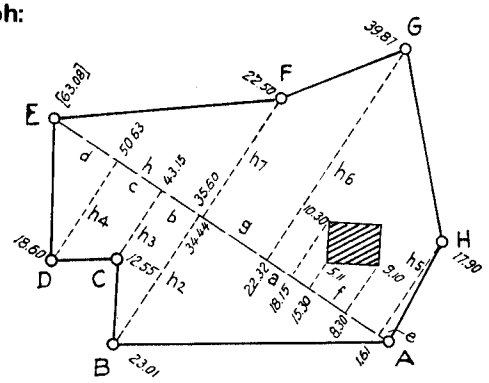
Dengan prisma segilima itu kita membidik garis pengukuran dan menggeser prisma segilima di atas garis pengukuran sampai bayangan titik yang dicari berada juga pada bayangan garis pengukuran. Dengan tiangnya diberi tanda di tanah dan dengan pita ukur dapat ditentukan abszis dan ordinatnya. Karena metode ini sangat teliti dan sederhana, maka selalu digunakan terutama pada pendaftaran tanah. Cara ini juga dapat digunakan untuk menelitikan jaringan poligon dsb. Untuk memudahkan pembidikan prisma segilima pada garis pengukuran sebaiknya digunakan suatu prisma-kembar segilima (double-pentagon prisma). Susunannya terdiri atas dua prisma dan satu kaca biasa, yang memungkinkan membidik dua ujung garis pengukuran beserta titik yang dicari sekaligus.



Gambar 118

Pada gambar 118 di atas kita lihat suatu skets seperti biasanya dilakukan dalam buku ukur. Di lapangan pada gambar itu diisi dengan semua ukuran sehingga menjadi dasar untuk peta atau pendaftaran tanah. Karena ketelitian prisma segilima sampai beberapa detik pada sudut 90° maka kesalahan pada jarak 100 m hanya beberapa milimeter. Karena ketelitian ini dapat diterapkan hanya dengan prisma segilima beserta tiangnya, dengan beberapa yalon dan pita ukur, maka cara ini menjadi paling sederhana.

Contoh:



Gambar 119

Pada suatu site seperti terlihat pada gambar 119 di atas ditemukan ukuran-ukuran dan luasnya site *(F)*.

Penyelesaian:

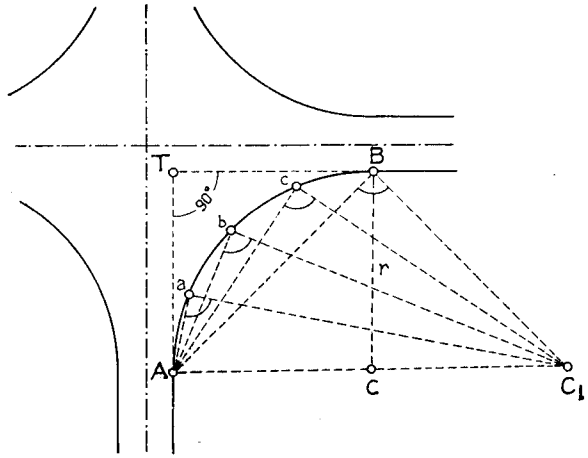
Dengan menentukan absis dan ordinat pada garis pengukuran $A - E$ kita juga dapat menentukan luas site *(F)* dengan mudah sebagai berikut: luas site duakali *(2F)* menjadi:

$2F = a\,h_2 + b\,(h_2 + h_3) + c\,(h_3 + h_4) + d\,h_4 + e\,h_5 + f\,(h_5 + h_6) + g\,(h_6 + h_7) + h\,h_7$

$a\ h_2$	$= 35.60\ .\ 23.01$		$=$	819.16
$b\ (h_2 + h_3)$	$= (43.15 - 35.60).(23.01 + 12.55) =$	7.55.35.56	$=$	268.48
$c\ (h_3 + h_4)$	$= (50.63 - 43.15).(12.55 + 18.60) =$	7.48.31.15	$=$	233.00
$d\ h_4$	$= (63.08 - 50.63).18.60 =$	12.45.18.60	$=$	231.57
$e\ h_5$	$= 1.61\ .\ 17.90$		$=$	28.82
$f\ (h_5 + h_6)$	$= (22.32 - 1.61).(17.90 + 39.87) =$	20.71.57.77	$=$	1196.42
$g\ (h_6 + h_7)$	$= (34.44 - 22.32)\ .\ (39.87 + 22.50) =$	12.12.62.37	$=$	755.92
$h\ h_7$	$= (63.08 - 34.44)\ .\ 22.50 =$	28.64.22.50	$=$	644.40
			$2F\ =$	4177.77

$F = 2088.88\ m^2$

Penentuan busur (lihat juga bab 1.5.4. Ketentuan kelengkungan dengan alat penyipat datar)



Gambar 120

Suatu busur yang menghubungkan dua garis yang siku dapat juga ditentukan dengan prisma segilima, seperti terlihat pada gambar di atas pada suatu simpangan jalan. Kita tambahkan jari-jari busur *2* pada garis *A-C* (dengan titik *C* sebagai titik pusat) dan terdapat titik C_1. Sekarang tiap-tiap

titik pada busur ini berada pada suatu segitiga dengan sudut 90° di atas garis A-C_1. Dengan prisma segilima kemudian kita berjalan dari titik A ke titik B sambil selalu membidik titik A dan titik C_1 maka dapat ditentukan titik *a, b c* dsb.

Jikalau titik-titik tsb. harus berderetan pada jarak yang sama, maka kita menentukan panjang busur A-B dan membaginya dengan n (banyaknya jarak) seperti berikut:

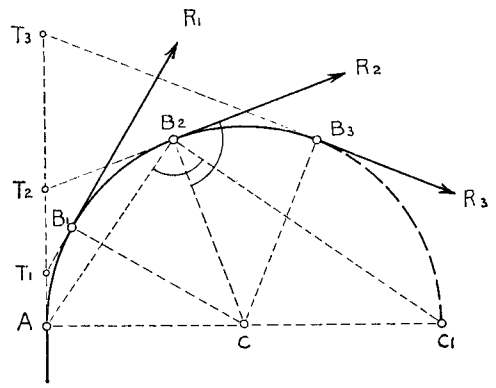
$$a = \frac{2 \cdot r \cdot \pi}{4 \cdot n}$$

Untuk penentuan titik masing-masing kita menentukan panjang kaki pada bagian masing-masing menurut rumus berikut:

$$d = 2\,r \sin \frac{\alpha}{2} \quad \text{dengan } X = 90°/n$$

Dengan penentuan titik pusat dapat juga kita mencari garis singgung R_1, R_2, R_3 dsb. Misalnya garis singgung pada titik B_2 kita dapatkan dengan penentuan suatu sudut 90° pada garis (jari-jari busur) B_2-C dsb. Pada suatu jari-jari busur kita dapat menentukan sembarang sudut garis singgung, atau jikalau kita mengetahui sudut garis singgung dapat menentukan jari-jari busur dan titik-titik pada busur dengan prisma segilima (lihat juga gambar 121 berikut).

Contoh:



Gambar 121

Suatu sudut garis singgung T_3 yang kita ketahui besarnya 68°10,0′. Kemudian dengan suatu busur berjari-jari r = 37 m kita menghubungi garis T_3-A dan garis T_3-B_3 seperti terlihat pada gambar 121 di atas.

Penyelesaian:

Kita menentukan pertama panjang garis T_3-A dan T_3-B_3 menurut rumus berikut:

$$T_3\text{-}A = r \cdot \cot \frac{\alpha}{2} = 37 \cdot \cot 34°05.0' = 37 \cdot 1.478 = \underline{54.68\ m}$$

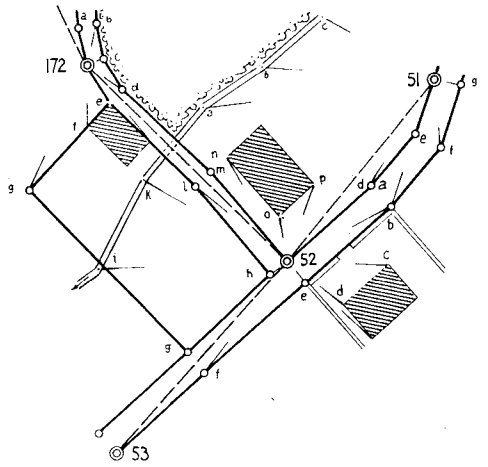
Kemudian titik A dan B_3 dapat kita ukur di lapangan dan ditentukan titik-titik busur sembarang seperti telah diterangkan.

b) Metode koordinat polar (lihat juga bab 2.4.)

Perkembangan pada pembuatan alat pengukur jarak optis mengakibatkan selanjutnya, bahwa sekarang hampir melulu digunakan metode koordinat polar. Dibandingkan dengan pengukuran koordinat siku-siku keuntungan metode koordinat polar ialah, bahwa banyak titik dapat diukur dari satu kedudukan alat ukur sudut dan metode ini juga dapat dilakukan pada lapangan yang curam. Terutama pada lapangan yang curam pengukuran jarak dengan pita ukur hampir tidak mungkin lagi dan ketelitian berkurang.

c) Pendaftaran tanah (kadaster)

Guna dan arti pendaftaran tanah membuat peta batas-batas tanah kepunyaan masyarakat dan orang pribadi demikian rupa, sehingga para yang ternak mempunyai tanah milik dapat dipercaya keamanan dan kepastian hukumnya (hak-kadaster). Pendaftaran tanah dapat juga digunakan Pemerintah untuk perhitungan pajak tanah milik (kadaster-pajak). Pendaftaran tanah juga menjadi dasar pemetaan kota, perencanaan proyek apa pun, ketentuan alam sekitarnya dengan sungai, danau, batas kultur dsb. Ketelitian kadaster biasanya disesuaikan dengan harga dan nilai lapangan atau daerahnya.



Gambar 122

Dasar pembuatan suatu pendaftaran tanah ialah penyelesaian pertengkaran batas antara penghuni yang berhak atas tanah milik pada daerah yang dialami kadaster. Kemudian ditanam tugu batu atau beton sebagai titik-titik batas dan sebagai titik poligon. Pengukuran seperti telah ditentukan biasanya dilakukan dengan metode koordinat polar dengan gambar pada buku ukur seperti dapat dilihat pada gambar 122 di atas. Perhitungan dan pengukuran pada titik 52 dapat dilihat pada tabel berikut.

Teodolit Wild T 16 dilengkapi dengan baji optis Wild DM 1 pada titik 52. Tinggi titik 51 = 0.00

titik		sudut horisontal		sudut vertikal	1.43 1-z	jarak	
		B, LB	rata-rata			pembacaan	direduksi
		° ′ .	° ′			m	m
	51	0 00		84 53.0		54.13	53.91
				(+ 5 07.0)			
		(182 35.2)					
	53	5 10.7	182 35.3	96 10.2		59.56	59.22
				(− 6 10.2)			
		(274 50.4)					
	172	189 40.2		88 15.2		64.81	64.78
				(+ 1 44.8)			
a	□	8 35		85 10		26.20	26.11
				(+ 4 50)			
b	□	22 50		85 51		27.08	27.01
				(+ 4 09)			
c	□	52 45		88 15		23.11	23.10
				(+ 1 45)			
d	□	87 40		89 10		16.50	16.50
				(+ 0 50)			
e	□	101 10		—		(tape)	6.33
f	□	177 20		97 10		32.35	32.10
				(− 7 10)			
g	□	188 35		96 22		31.44	31.25
				(− 6 22)			
h	□	193 20		—		(tape)	4.91
i	X	288 40		98 40		43.39	43.90
				(− 8 40)			
..... dsb.							

Contoh:
Kita mengukur dahulu sudut poligon dan jarak pada poligon-poligon di sekitarnya yang sudah diketahui. Kemudian dipilih suatu arah nol pada contoh ini ke titik 51 dan kemudian ditentukan dalam arah jarum jam semua titik yang dicari dengan sudut horisontal dan vertikal beserta jaraknya. Titik-titik yang dekat pada lapangan yang datar kita ukur secara langsung dengan pita ukur.

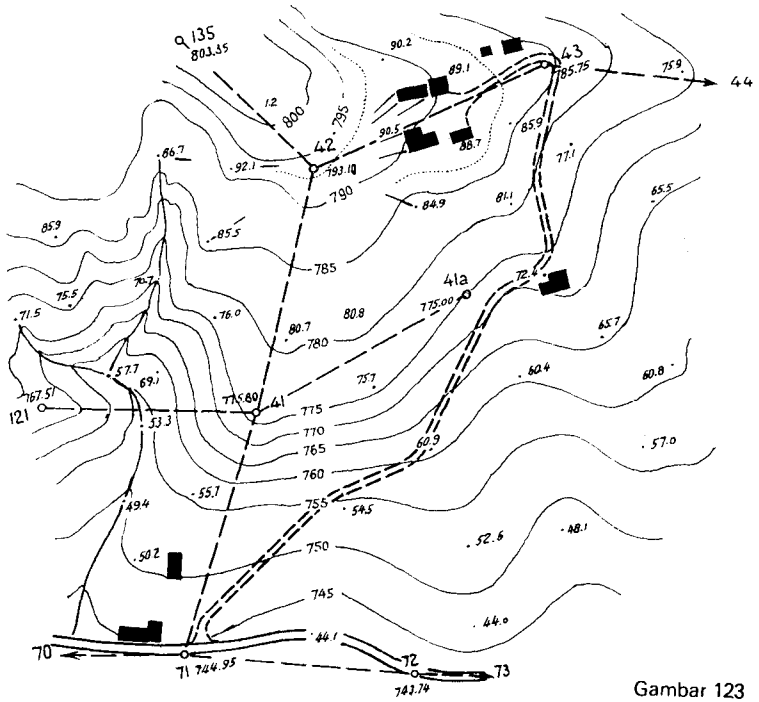
Perbaikan

Suatu sistim peta terutama pendaftaran tanah hanya dapat dipercaya dan dihargai jikalau selalu benar; Berarti tiap-tiap perubahan hak milik tanah atau rumah langsung harus juga dicatat pada kadaster. Biasanya kita akan menyipat hanya bagian yang berubah dari titik kedudukan alat ukur sudut/titik-titik yang sudah diketahui.

d) Peta topografi

Guna dan arti peta topografi bukan hanya memperlihatkan letak detail-detail buatan (rumah dsb) dan alam (sungai, danau dsb) melainkan memperlihatkan juga bentuk dan keadaan daerah yang biasanya dapat kita lakukan dengan penentuan garis-garis kontur (lihat juga bab 1.6. Menyipat datar pada bidang). Kita selanjutnya tidak memilih lagi titik-titik tertentu, melainkan titik-titik sembarang di lapangan yang dapat membantu tujuan kita, menggambar garis-garis konturnya. Seorang juru peta yang ahli bisa menentukan beberapa titik yang penting, cukup untuk membayangkan dan akan menggambar peta topografi suatu lapangan. Pada penyipatan untuk peta topografi sebaiknya kita menggunakan sistim Reichenbach (lihat bab 2.6.1. Penggunaan rambu yang vertikal, a) Asas Reichenbach) dengan alat-alat ukur sudut Wild sebagai berikut: diagram-tachimeter Wild RDS atau tachimeter dengan reduksi automatis Wild RDH.

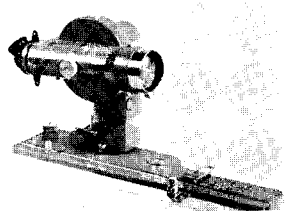
Contoh:
Peta 123 di atas, peta topografis berskala 1:5000 dengan jarak garis-garis kontur (Equidistance) 5 m. Pada titik letak alat ukur sudut 42 diperlihatkan catatan-catatan pada buku ukur pada tabel di bawah. Dengan penggunaan tachimeter dengan reduksi automatis catatan menjadi sederhana sekali.
Karena peta baru dapat digambar di kantor, maka pada buku ukur dibuat skets seteliti mungkin dan dengan garis-garis kontur kira-kiraan.



Gambar 123

Diagram-tachimeter Wild RDS pada titik 42. Tinggi titik 41 = 0.00

titik	sudut horisontal	jarak horisontal	beda tinggi	tinggi di atas permukaan laut
42				793.10
41	00.0	197.80	−17.30	775.80
43	232 25.2	199.10	− 7.35	785.75
135	120 05.2	145.20	+10.25	803.35
a	234 50	76.10	− 2.60	790.50
b	247 10	76.30	—	—
c	277 22	85.30	− 8.20	784.90
d	322 10	100.50	− 7.60	785.50
dsb.				



Gambar 124

Dengan menggunakan **alhidade dengan reduksi automatis Wild RK 1** (lihat gambar 124 di atas) sebagai perlengkapan suatu meja gambar yang dapat digunakan di lapangan, kita dapat menggambar peta langsung dalam skala tertentu. Kita tidak mencatat pengukuran pada buku ukur, melainkan langsung menggambar peta. Jarak-jarak langsung kita gambar dengan mistar sejajar pada peta menurut arah garis bidik teropong Wild RK 1. Karena kita tidak perlu menggambar peta di kantor maka cara ini menghemat waktu dan secara langsung memperlihatkan kesalahan yang kasar, jikalau timbul. Mungkin juga banyaknya titik-titik sembarang dapat diperkurang.

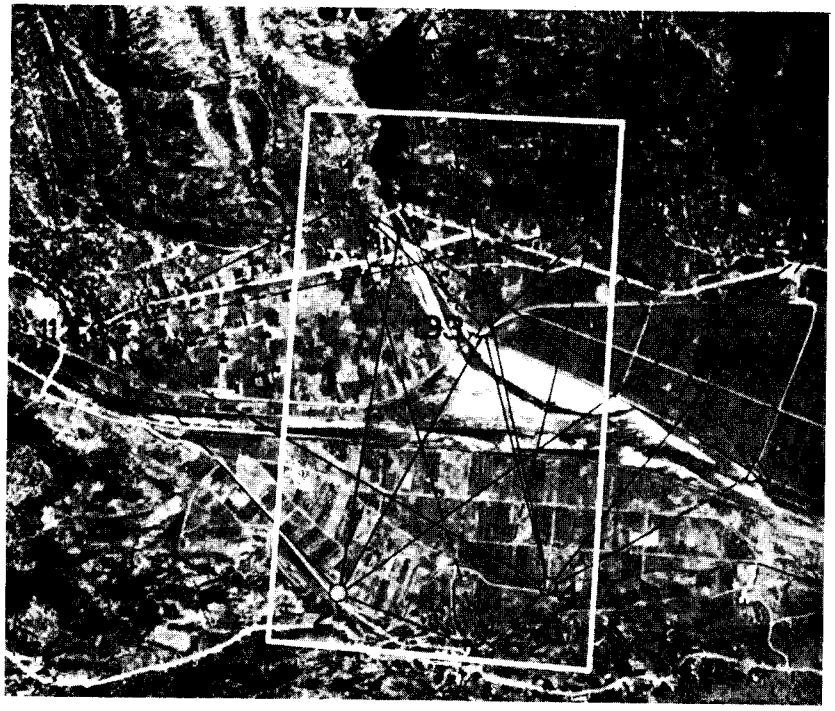
Peta topografi diperlukan pada banyak kesempatan, pada perencanaan bangunan maupun jalan-jalan dsb.

Atas dasar peta topografi dibuat proyek-proyek dasar yang memungkinkan kemudian penyipatan dibatasi pada daerah-daerah yang penting saja. Misalnya pada gambar 123 di atas direncanakan suatu jalan baru (lihat garis-putus) dari titik *71* ke titik *43* dengan kecuraman yang sama pada seluruh jalan. Beda tinggi pada dua titik ini 41 m dan dengan suatu kecuraman yang 7% kita memerlukan panjang jalan 600 m. Pada suatu jarak garis-garis kontur yang 5 m ini berarti jarak jalan 70 m. Kita mulai pada titik *71* dan dengan jangka mengukur selalu 70 m dari satu garis kontur ke garis kontur berikut.

e) Pembuatan peta

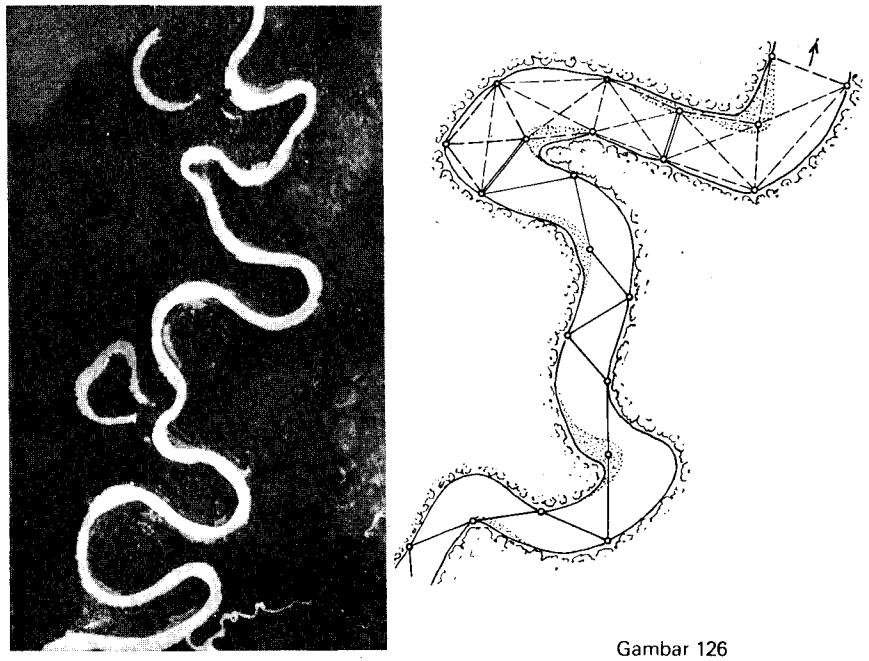
Pada bab ini kita hanya memperhatikan pembuatan peta pada daerah yang luas tanpa pengukuran langsung di lapangan yang membantu pembuatan peta. Pekerjaan pembuatan peta seperti ini menjadi luas dan sangat menarik walaupun juga kesulitannya besar. Biasanya kita menggunakan pada soal semacam ini fotogrametri-udara yang bekerja cepat, tepat dan ekonomis. Akan tetapi foto-foto itu hanya dapat digunakan jikalau pada tiap-tiap foto ada titik/tugu tertentu sehingga skala dapat ditentukan.

Dalam prakteknya pada fotogrametri-udara kita mendapat suatu strip foto-foto dengan beberapa titik/tugu triangulasi tertentu atau dengan tugu-tugu dari dua jaringan triangulasi yang belum dihubungkan, tetapi dengan jarak yang dapat ditentukan dengan poligon.



Gambar 125

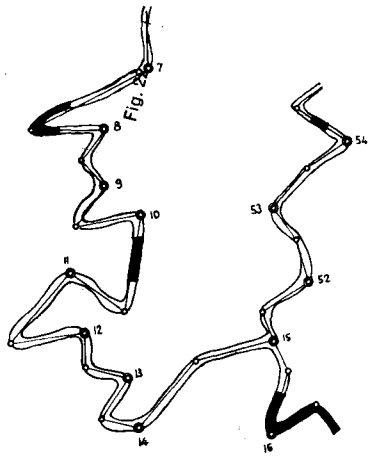
Pada foto 125 di atas kita lihat sebuah fotogrametri-udara. Bingkai yang putih menentukan suatu daerah yang ditutup oleh dua foto (dari kiri dan dari kanan). Titik/tugu yang ditentukan pada gambar/foto itu akan kita sipat dan kita triangulasi-kan menurut metode-metode yang telah dibicarakan.
Tiap-tiap titik/tugu harus berada pada paling sedikit dua gambar sehingga foto-foto akan dapat dihubungkan. Biasanya seorang ahli fotogrametri-udara membuat foto-foto dahulu dan akan menentukan tugu-tugu yang akan disipat kemudian, sehingga tugu-tugu terlihat dengan jelas pada foto-foto.
Pada daerah hutan tanpa titik-titik yang nyata dan garis-garis yang jelas, maka terpaksa sebelum dibuat fotogrametri-udara kita tanam beberapa tugu tertentu, yang akan dengan mudah dapat dilihat dari atas.



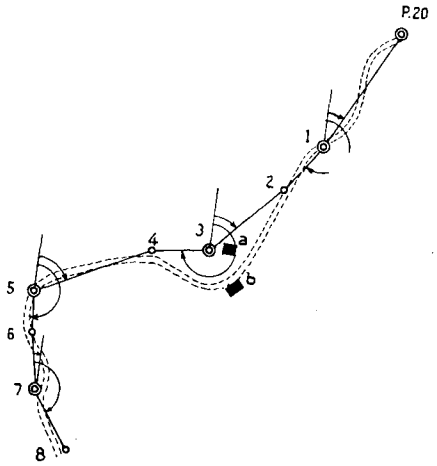
Gambar 126

Pada gambar 126 di atas kita lihat sebuah sungai dan hutan tanpa titik-titik yang dapat menentukan dengan jelas. Karena sungai ini boleh dikatakan datar, maka kita akan menyipat atas dasar permukaan air (lihat juga bab 1.6.6. Menyipat datar dengan bantuan permukaan air).
Pada penyipatan sungai di hutan kita harus mengabaikan poligon biasa karena pembersihan tepi sungai dari tumbuh-tumbuhan yang amat lebat akan mahal sekali. Sebaiknya kita hanya bekerja pada bagian sungai yang bebas. Karena sungai seperti ini sering beberapa ratus meter lebarnya, sebaiknya digunakan cara dengan rambu dasar yang horisontal (lihat bab 2.6.3.). Titik-titik poligon kita pilih berganti-ganti pada tepi sungai sebelah kiri dan sebelah kanan. Jikalau sungai menjadi terlalu lebar untuk cara ini sebaiknya kita lakukan pengukuran jarak dengan rambu dasar bantuan (lihat bab 2.6.3. Penggunaan rambu dasar yang horisontal, c) Pengukuran jarak dengan rambu bantuan) untuk membangun suatu rangkaian atau jaringan triangulasi seperti terlihat pada gambar 126 di atas.
Karena suatu foto seperti 126 tidak menentukan detail-detail, maka dapat kita tentukan bagian sungai dan hutan. Pada sungai kecil kita mungkin juga hanya dapat melihat sedikit-sedikit, misalnya karena tertutup pepohonan.

Walaupun demikian foto-foto dapat juga membantu karena peta ini biasanya tidak perlu terlalu teliti. Maka walaupun detail-detail belum ditentukan, peta masih cocok untuk merencanakan jalan atau perkampungan yang baru dsb. Jikalau kemudian kita akan membangun proyek tsb. maka perlulah dibuat penyipatan yang lebih teliti lagi. Alat ukur sudut yang paling cocok pada pekerjaan ini, yaitu misalnya teodolit kompas Wild TO atau skala- teodolit Wild T 16 yang dilengkapi dengan kompas giro Wild GAK 1 dsb. yang akan digunakan atas dasar fotogrametri-udara.



Gambar 127



Gambar 128

Penyipatan dengan teodolit kompas akan kita sambung dengan bagian-bagian sungai yang sudah dibuat petanya atas dasar foto-grametri-udara yang diisi hitam pada gambar 127 di atas.

Contoh:

Sebagai contoh buku ukur suatu penyipatan dengan teodolit kompas pada sungai dapat kita perhatikan gambar 128 di atas dan catatan-catatan buku ukur berikut (lihat juga bab 2.8.4. Pengukuran poligon kompas, b) Poligon dengan cara melompat tiap satu titik sudut).

alat	sasaran	pembacaan kompas	jarak	sudut vertikal	jarak horisontal	beda tinggi +	beda tinggi −	tinggi	titik
		o '	m	o '	m				
	P20	26 45	131.00	+ 0 14	131.00	0.54		123.74	P20
1								123.20	1
	2	214 30	54.30	− 7 03	53.70		6.60	116.60	2
	2	40 25	92.60	− 1 06	92.80		1.78	116.60	2
3								118.39	3
	4	264 00	52.40	− 2 31	52.30		2.31	116.07	4
	a	67 20	10.80	+ 18 12	9.80	3.20		121.58	a
	b	136 10	38.40	+ 6 24	38.00	4.25		122.63	b
	4	62 05	122.00	− 3 16	122.00		6.97	116.07	4
5								123.03	5
	6	173 10	40.90	+ 5 14	40.70	3.73		126.77	6
	6	349 30	54.20	+ 0 06	54.30	0.09		126.77	6
7								126.68	7
	8	142 25	65.40	+ 1 03	65.50	1.20		127.88	8

Biasanya penyipatan dengan teodolit kompas digunakan hanya secara grafis. Jikalau kita juga harus menentukan koordinat-koordinat maka kita harus memperhatikan perubahan deklinasi sehari yang di lapangan dapat kita perhatikan dengan mencatat waktu pada tiap-tiap pembacaan.

2.9. Pemeliharaan alat-alat ukur tanah

Suatu alat ukur tanah hanya dapat selalu dipakai dan bekerja tepat jikalau alat itu dipelihara dengan baik secermat mungkin. Pada tiap-tiap alat ukur tanah Wild didapatkan juga satu buku petunjuk yang diharapkan dibaca dengan teliti. Semua tindakan yang dianjurkan hendaknya dilaksanakan. Suatu buku petunjuk yang hanya disimpan baik-baik tidak ada gunanya.

Penyimpanan

Sebaiknya suatu alat ukur tanah Wild disimpan pada suatu ruang yang kering, bebas debu dan bebas perubahan suhu yang besar. Pada suasana yang lembab sebaiknya alat ukur tanah Wild disimpan di luar kotaknya sehingga udara bisa mengenai semua bagian dengan baik, maka bagian optis tidak terkena jamur (fungus). Suatu alat ukur tanah yang jarang digunakan lebih membahayakan daripada suatu alat ukur tanah yang sering dipakai.

Transport

Untuk transportasi alat ukur tanah Wild dilengkapi dengan kotak yang khusus dan cocok untuk satu alat saja. Sebaiknya alat dan kotak selalu tegak dan kalau diangkat dipakai pegangan di sebelah atas. Pada perjalanan yang berat pada jalan yang jelek dsb. sebaiknya seorang selalu memegang alat ukur tanah sehingga dapat dilindungi dari goncangan dan benturan.

Mengeluarkan dari kotak

Sebaiknya sebelum mengeluarkan alat ukur tanah dari kotak kita memperhatikan dengan teliti letaknya sehingga nantinya dapat mudah dimasukkan kembali ke dalam kotaknya. Alat-alat ukur sudut selalu harus diangkat dan dipegang dengan dua tangan karena alat itu agak berat. Akan berbahaya sekali kalau alat penyipat dipegang pada satu tempat saja.

Meletakkan alat ukur tanah pada kaki tiga

Alat-alat ukur tanah sesudah diambil dari kotak langsung kita letakkan pada statif (kaki tiga) dan memasangkannya. Jangan tinggalkan suatu alat ukur tanah di atas statif tanpa mengikatnya.

Pemasukan kembali ke kotak

Sebelum kita melepaskan alat ukur tanah dari statif, kotak kita sediakan, sehingga semua siap untuk menerima alat ukur tanah itu. Baru kita lepaskan alat itu dari statif dan memasangnya pada pelat dasar kotak. Kotak lalu ditutup dan dapat dibawa kembali ke kantor.

3. Lampiran

3.1. Daftar istilah penting

A

Alat penyipat datar, 11
—, ketelitian 13
—, otomatis 16
—, data-data 20
—, ketentuan kelengkungan 38
—, pemeliharaan 158
Alat ukur sudut, 51, 55
—, data-data 62, 64
—, dengan reduksi otomatis 90
—, penggunaan pada praktek 106
—, pemilihan 109
—, pemeliharaan 158
Alhidade dengan reduksi otomatis Wild RKI 154

B

Baji optis, Richard 93
—, Wild DMI 94
Beda tinggi, perhitungan 126, 136
Benang-silang 15, 44, 63
Benang stadia 15, 44, 89

Busur, penentuan 149

D

Deklinasi 142
Diagram-tachimeter Wild RDS 90, 91
Distomat Wild DI 4 100

E

Equidistance 39, 41

G

Garis bidik, pengaturan 24
Garis-garis kontur, 41, 44, 89
—, penentuan 46
—, jarak (*lihat*: equidistance)
Gezichtsveld (*lihat*: medan pandangan)

J

Jaringan, triangulasi secara sederhana 106
—, dasar 107
—, poligon 127
Jaringan segitiga 52, 109
—, peninjauan 110
—, perhitungan 111

K

Kaca-datar-planparalel 18
Kadaster (*lihat*: pendaftaran tanah)
Kaki tiga 21, 22
Kelengkungan bumi 124
Kemiringan penentuan 47
Kesalahan, akhir 29
—, _____ sistematik 29, 69, 70, 138
—, acak _____ 29, 69, 70
—, yang diperbolehkan 29
—, sumbu nivo alhidade terhadap sumbu pertama 65
—, garis bidik terhadap sumbu pertama 65
—, pada indeks lingkaran vertikal _____ 66
—, pembidikan 67
—, pada skala lingkaran 67
—, dan cara mengatasnya 69
—, jenis-jenis _____ 69
—, _____ kasar 70, 137
—, rata-rata _____ 70
—, rata-rata kuadratis 70
—, perkiraan _____ 71
Ketelitian yang dapat diperkirakan 68

Kompas, pengukuran poligon 141, 142
Kompas-giro Wild GAKI 110
Konvergensi meridian 142
Koordinat, yang siku-siku 73, 146
—, polar 74, 150
—, penentuan dari sudut-arah t dan jarak d 76
—, penentuan 133
—, selisihan 134
Kuadrant, ketentuan 74
Kutub utara, magnetis 142
—, geografis 142

L

Landasan rambu ukur 28, 29
Least squares method (*lihat*: Kesalahan rata-rata kuadratis)
Lingkaran horisontal, berskala 12, 19, 56
—, pembacaan koinsidensi 58
Lingkaran vertikal, _____ 56
—, pembacaan koinsidensi 58

M

Medan pandangan 63
Mengatur garis bidik 24

Metode, mengukur sudut cara repetisi 81
—, mengukur sudut cara reiterasi 83
—, mengukur jurusan 85
—, mengukur sektor-sektor 87
Mikrometer optis 60
Mikroskop skala 60

N

Nivo, (*lihat juga*: Alat penyipat datar)
—, tabung, kepekaan 13
—, alhidade 56
—, tabung koinsidensi 62

P

Pemeliharaan alat ukur tanah 158
Pendaftaran tanah 150
Penentuan titik secara pemotongan, ke muka 117
—, ke belakang 120
Pengaturan nivo pada alat penyipat datar 22
Pengikatan kepada titik-titik yang tidak dapat dicapai 138
Pengukuran guna pembuatan peta 146
Pengukuran jarak, secara optis 88
—, secara elektronis 100
—, tunggal 96
—, terbagi 98
—, dengan rambu -dasar bantuan 99

Pengukuran tinggi, trigonometris 123
—, pelaksanaan 125
Penyipat datar, teknik 24
—, memanjang 26
—, memanjang keliling 31
—, memanjang dengan menghubungkan pada titik tertentu 31
—, pada bidang 39
—, dengan bantuan permukaan air 48
Perambatan kesalahan 71, 143
Percobaan menyipat 23
Peta topografi 152, 155
Poligon, 54
—, utama 115, 129
—, cabang 116, 129
—, lepas 127
—, terikat sempurna 128
—, terikat 128
—, sisi-sisi 132
—, pengukuran dengan pemusatan _____ paksa 140
—, pengukuran kompas 141
—, dengan cara melompat tiap satu titik sudut 145
Prisma segilima (prisma pentagonal) 147
Profil memanjang dan profil melintang 34

R

Rambu ukur, yang horisontal, penggunaan 92
—, yang vertikal, penggunaan 88
Rambu-dasar yang horisontal, penggunaan 96
Rambu-dasar Wild GBL2m 97
Rangkaian segi banyak 54
Raster (*lihat*: Sistem kisi)
Refraksi 124
Reichenbach, asas 88
Reiterasi (*lihat*: metode mengukur sudut cara reiterasi)
Repetisi (*lihat*: metode mengukur sudut cara repetisi)
Richard, baji optis 93

S

Seri (*lihat*: metode mengukur jurusan)

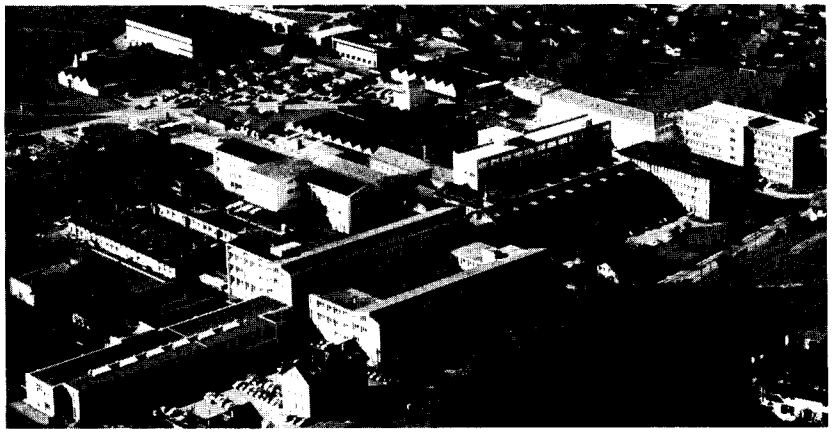
Sistim, kisi 42
—, koordinat 73
Springstatien (*lihat*: poligon dengan cara melompat tiap satu titik sudut)
Statif (*lihat*: kaki tiga)
Sudut-arah, 134
—, t dan jarak d, penentuan dari koordinat 77
Sudut-sudut, pengukuran 81, 131
—, pembetulan 133

T

Tachimat yang elektronis 100, 104
Tachimeter dengan reduksi otomatis 95
Tachimetri, pada penyipatan datar 43
—, teodolit 59
Teodolit, (*lihat* juga: alat ukur sudut)
—, universil Wild T2 57
—, Wild T3 59
—, repetisi 59
—, tachimetri 59
—, kompas Wild T0 61, 143
—, _____ Wild T05 61
—, sifat-sifat penting 65
—, pemilihan alat yang cocok 68
Teropong, 15

—, pembesaran bayangan 18, 63
—, bayangan 62
Triangulasi (*lihat*: jaringan segitiga)
Tugu primer, sekunder, tersier dan kwarter 31

3.2. Hasil produksi perusahaan Wild Heerbrugg Ltd. Swis



Geodetic instruments: Levels (builder's, engineer's and precise levels); theodolites (for tacheometry, construction work, surveying and astronomical observations); self-reducing tacheometer; self-reducing alidade (for plane tabling); gyro attachment (for determination of true north); electronic distance-measuring instruments; optical plummets; tripods, measuring staffs, pentaprisms.

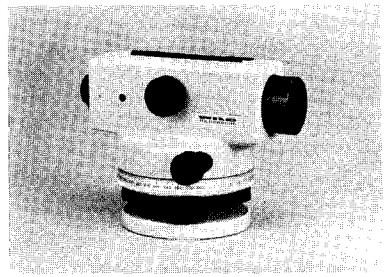
Photogrammetric instruments: Fully automatic aerial cameras, terrestrial cameras, aquipment for photographic processing, stereoscopes, precision autographs, plotters for all scales, equipment for numerical photogrammetry.

Microscopes for research and laboratories.
Stereomicroscopes for medicine, botany, zoology, mineralogy, teaching and the entire range of industrial uses.

Other optical instruments for workshops, laboratories and special purposes.

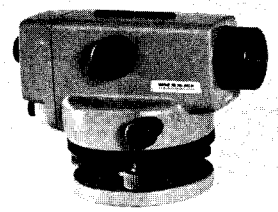
Alat penyipat datar

NAO/NAKO



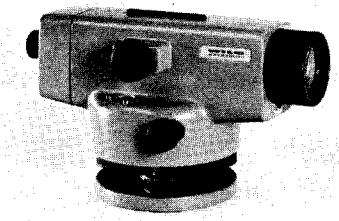
The Wild NAO Small Automatic Level, for surveying and construction and especially for tough work on building sites. Once the circular bubble is centred the compensator brings the line of sight horizontal. Compensator functioning checked by pressing a button. Erect image Friction-braked rotation with horizontal drive 90 cm minimum focussing for work in confined spaces. The model NAKO has a circle that can be set to any value. Highly visible red colour Brochure G 1 142 e

NA 1/NAK 1



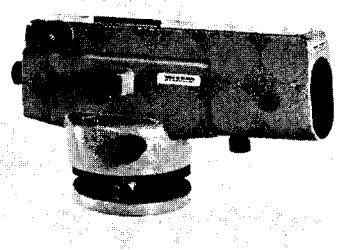
The Wild NA 1 Engineer's Automatic Level, for engineering, construction, surverying. Once the circular bubble is centred, the line of sight is brought horizontal by a compensator, which is checked by pressing a button Erect image. Short minimum focussing. The instrument is turned by hand and fine-pointed with the endless drive. The model NAK 1 has a glass circle that can be set to any value. Accessories: parallel plate micrometer, objective pentaprism, auxiliary lens. Brochure G 1 143 e.

NA 2/NAK 2



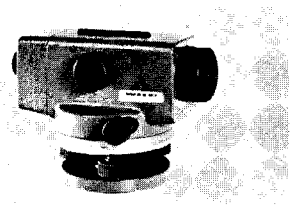
The Wild NA 2 Universal Automatic Level is a precise instrument for surveying, engineering and industry, yet one which also handles all routine tasks I: is supremely versatile. The compensator has a high setting accuracy and the unique Wild press button control. Magnification is 32× or 40× depending on choice of eyepiece Focussing has coarse fine motion. Rotation is friction-braked and the drive screw is endless with a knob at each side. The model NAK 2 has an internal glass circle with estimation to 1° (1g) Brochure G 1 108 e.

Attaching the GPM 3 Parallel Plate Micrometer converts the NA 2 (NAK 2) into a pracision level for use with invar staffs for first-order control, deformation measurements and optical tooling. Depending on the model direct reading is to 0.1 mm, 0 0001 ft. 0.01 in Estimation to within these amoants. Other accessones include objective pentapasm, auxillary lens. GLO 2 Laser Eyepiece, autocol. Imation eyepiece diagonal eyepiece, eyepiece lamp, optional container for level with micrometer attached.



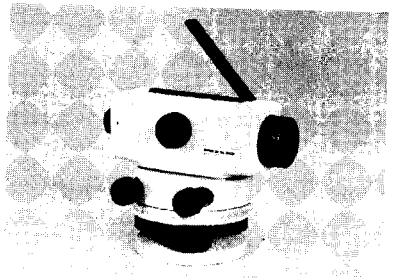
N 01/NK 01

The Wild N 01 Dumpy Lavel Builders and contractors use it for area levelling, setting floors, laying pipes. Gardners for landscaping. Farmers for levelling fields and irrigation ditches. It's a simple, rugged, inexpensive level. Centre the tubular bubble with the three footscrews, then read the staff through the 19 × erect-image telescope. Friction-braked rotation with drive screw. The NK 01 has a metal circle for measuring and setting out angles to 0.1° (0.1ᵍ). Bright red colour. Brochure 153 e.



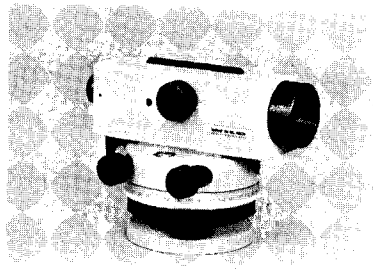
N 05/NK 05

The Wild N 05 Tilting Level is robust and easy to use, a level for builders, contractors, site engineers and surveyors. Handles area and line levelling. Erect image telescope focusses down to 80 cm (2.6 ft) — ideal for confined spaces. Easy to level up with tilting screw and open tubulat bubble. Viewing mirror folds down as protective cover. Friction braked rotation and fine motion drive screw. The model NK 05 has a metal circle with estimation to 0.1° (0.1°). Bright red warning colour Brochure G 1 150 e.



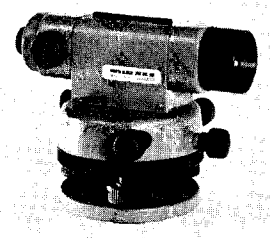
N 1/NK 1

The Wild N 1 Engineer's Level, a compact tilting level with a high performance. Highly suitable for line and area levelling in surveying and engineering. Erect-image telescope with 23 × magnification and 70 cm shortest focussing distance. Coincidence bubble sets the line of sight to ± 1.15" An arrow in the bubble image shows how to turn the tilting screw. Faction-braked rotation with drive screw. The Nk 1 has a metal circle for measuring and setting out angles to 0.1° (0.1ᵍ). Red colour. Brochure G 1 154 e.



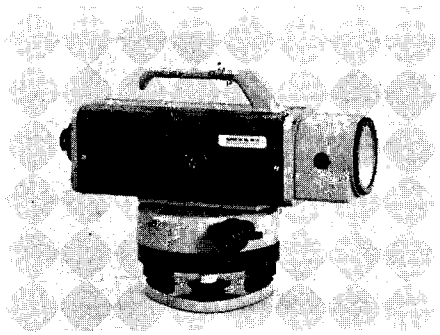
N 2/NK 2

The Wild N 2 (NK 2) Engineer's Level, an accurate instrument for surveying, engineering, construction, Industry Erect image 30 × magnification. Tilting screw below objective Arrow in split bubble shows how to turn this screw. Friction-braked rotation. Endless horizontal drive NK 2 with glass circle for angle measurement and setting ou: Accassories parallel plate micrometer for precise measurements, auxiliary lenses, pentaprism. Brochure G 1 131e



N 3

The Wild N 3 Precision Level, an outstanding instrument for first-order work, is ideal for geodetic control, deformation surveys, industrial assembly. An arrow in the split bubble shows how to turn the tilting screw. The build-in parallel plate micrometer gives direct reading to 0.1 mm. 0.0001 ft. or 0.001 inch A wedgeshaped hair allows the invar staff graduation to be straddled 42 × magnification. Inverted or erect image according to eyepiece. Brochure N 145 e.

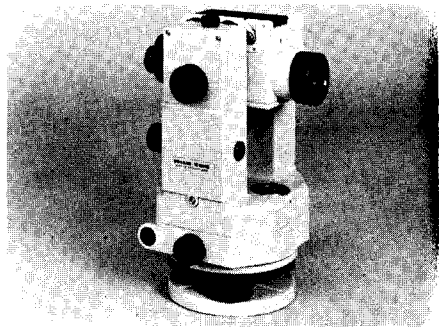


Alat ukur sudut (teodolit)

T 05

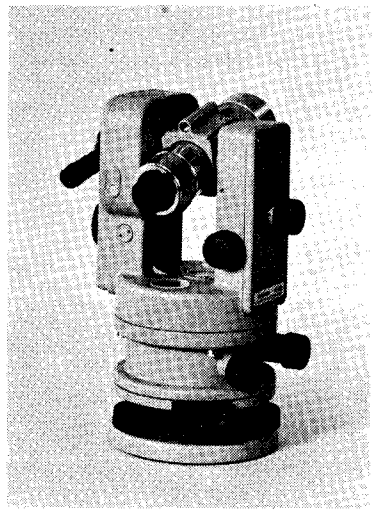
The Wild T 05 Small Theodolite is an instrument for construction, engineering, subdivisions, irigation, forestry, geology, mining — I.e. for tasks for which a more expensive theodolite of highat accuracy is not faquired.

Direct reading to 5′ (5°), estimation to 0.5′ (1°). Circle illumination by means of bright red diodes guarantees optimum lighting. The 19× erect image telescope focusses down to 80 cm. Telescope level for line and area levelling is optional. A gradient level for pipe-laying and drainage channeis is also optional Brochure G 1 232 e.



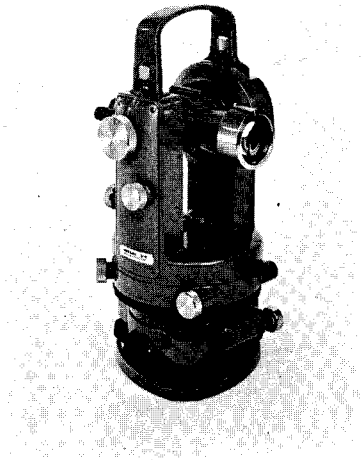
T 0

The Wild T 0 Compass Theodolite: compact, lightweight, easy to use. It serves both as a compass theodolite for compass traversing and determining magnetic bearings and as a conventional theodolite for angular measurement. Diametrical reading of the horizontal compass circle. Both circles seen in the same microscope. Hz readings with a micrometer to 20″ (1°). V readings are direct with accurate estimation to 1′ (2°). Well arranged controls. Erect image telescope. Springloaded safety clamp protects the compass pivot.
Accessories: telescope level, solar prism, black eyepiece filter. The Wild T 0 is used for forest, cadastral, agricultural, exploration, reconnaissance surveys etc. Brochure G 1 270 e.



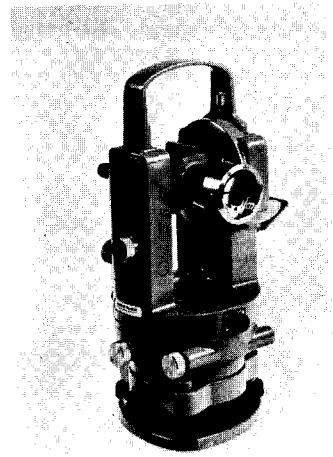
T 1

The Wild T 1 Micrometer Theodolite is for low-order triangulation, traversing, tacheometry, property surveys, mining, construction. The automatic index makes vertical circle reading easy. The liquid compensator has nothing to wear out and nothing to maintain. Circle reading is fully digital, the optical micrometer being numbered to 6″ (0.2′). Estimation to 3″ (0.1°) is easy. Having two horizontal clamps and drives, the T 1 can be used for the repetition method and for carrying bearings. It has an optical plummet in the alidade and a detachable tribrach. There is a range of accessories. Brochure G 1 260 e.



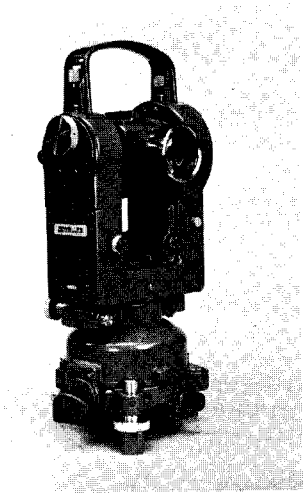
T 16

The Wild T 16 Scale Reading The odolite is for low-order triangulation, tacheometry, traversing, mining, property surveys, construction, setting out. The easily read scales with estimation to 0.1′ (0.1°) allow rapid work. The horizontal circle appears yellow, the verical white. The simple scale reading and the automatic vertical index make the T 16 a most useful theodolite. Optical plummet in alidade. Detachable tribrach Carrying handle. Many accessories.
The T 16 D has a horizontal circle with clockwise and anticlockwise numbering (360° only), allowing angles to be read or set out to the right and to the left A 20″ interval scale is also available Brochure G 1 242 e.



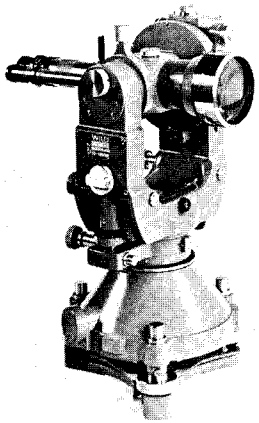
T 2

The Wild T 2 Universal Theodolite in addition to its high accuracy, it is simple to handle and has many accessories. An inverter knob brings required circle image into reading eyepiece. Horizontal circle appears yellow, vertical white Coincidence setting for direct meaning of twc diametrically-opposite circle positions. Reading is digital apart from the single seconds. Automatic index for vertical circle. The all-steel T 2 is a real "Universal" theodolite for triangulation, precise traversing, astronomy, tacheometry, angineering, cadastral survey, setting out mining, optical tooling. Detachable tribrach with optical plummer. Carrying handle Brochure G 1 265 e.



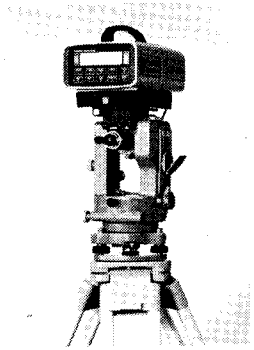
T 3

The Wild T 3 Precision Theodolite is farger and evef more accurate than the T 2 theodolite. Direct reading to 0.2" (1cc) Desioned for first order triangulation reals population for deformation surveys industrial installations and machine acording For industry the T 3 A autocolimation model is used Steel construction for exceptional stability. Various possibilities for forced-centring, such as a ball centring device for pillar set-ups and a remcvable base which takes the T 3. the T 2 and T 2 tribrach accorssoties. Other accassories for astronomy, deformation and industrial surveys. Brochure G 1 219 e.



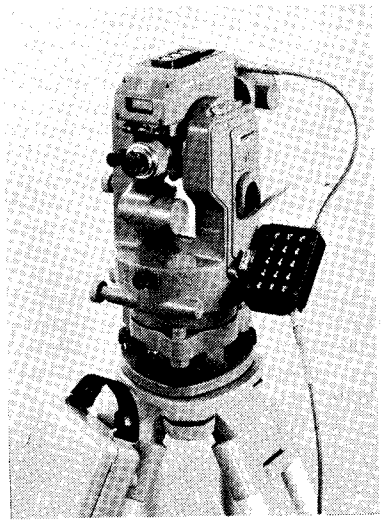
CI-410/CI-450

CITATION CI-410 and CI-450 from Precision International, USA. Fit Wild T 05, T 1, T 16, T 2 theodolites. Also fit theodolites of other manufacturers. Mount directly on the theodolite telescope or in a yoke on the theodolite standards.
Control panel with large LCD display and integrated keyboard. Range, repeat and tracking modes. V-angle input. Display of slope, horizontal distance, height difference. PPM and prism constant entry via keyboard. Signal, battery and functional checks. Scan mode.
CI-410 has a range of about 2.2. km; CI-450 about 3 km. Standard deviation 5 mm + 5 ppm.
CITATION CI-410 and CI-450 for all routine work. Brochure G 1 340 e.



DI 4/DI 4L

Wild DI 4 and DI 4L Distomats, the smallest EDM units. Fit on T 1, T 16, T 2. Fully automatic. Slope distance measured and displayed. Tracking mode. Indicate standard deviation. Apply atmospheric, sea level, scale factor corrections. Display in metres and feet. Accuracy 5 mm + 5 ppm.
Optional keyboard for reductions. Angle input in 360° or 400g. On entering V-angle, display horizontal distance and height difference corrected for curvature and refraction. Coordinate differences on entering Hz-angle. Optional Recording Unit Wild GRE 2 available. DI 4 standard model with 2 km range. DI 4L long-range model for 5 km, 2.5 km to 1 prism.
For traversing, trig. heighting, cadastral, setting out, engineering, profiles, contouting. Brochure G 1 337 e.

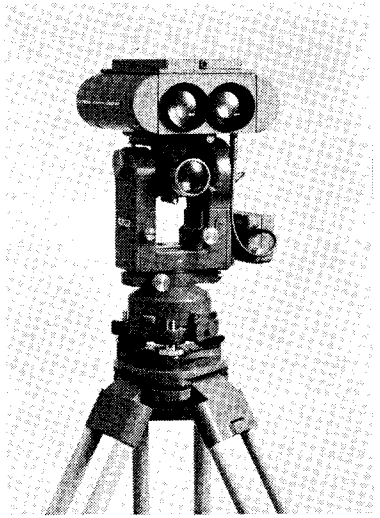


DI 20

Distance measurement with the DI 20 is fully automatic. Simply point to the reflector and touch a key to measure. A microprocessor controls the entire measurement, automatically. Filters attenuate the received signal. To ensure the accuracy of the displayed result, internal calibration measurements are carried out at the beginning and end of the measuring program.

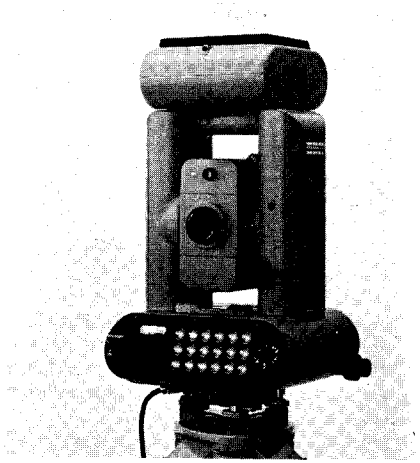
The use of an aged quartz crystal with electronic compensation for temperature dependent drift (TCXO) provides excellent freuency stability. The accuracy of the DI 20 is 5 mm + 1 ppm standard deviation throughout the temperature range −20° C to + 50° C.

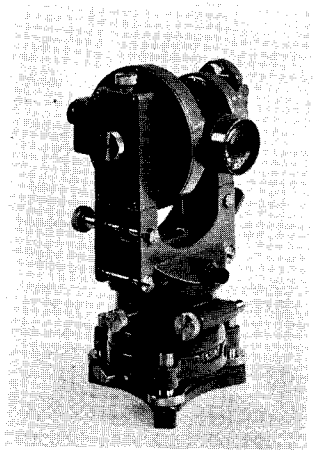
Measures distances up to 14 km.
As the DI 20 displays the standard deviation (sigma)σ of a measurement, the user is informed about the accuracy of the displayed distance. The sigma display is particularly useful when measuring long distances for precise control surveys.



TC 1/TC 1L

Wild Tachymat Electronic Reduction Tacheometer. Fully automatic survey system for rapid acquisition of a mass of data for engineering and cadastral surveys and digital terrain models. Also for setting out. Displays Hz and V angles, slope, horizontal distance, difference in height, height above datum, coordinates. TC 1 standard model with 2 km range. TC 1L long-range model for 5 km, 2.5 km to 1 prism. Accuracy ± mm + 5 ppm. Tracking mode. Units: metres feet, 360°, 400g. Optional recording attachment for recording distances and angles and other informations on magnetic tape cassette. Cassette reader transfers data to computer system. Brochure G 1 333 e.



RDS

The Wild RDS Self-Reducing Tacheometer simplities and speeds up tacheometric surveys. The flat reduction curves allow the horizontal distance and difference in height to be read directly from a vertical staff. Slide rules and tacheometric tables are not necessary. If the special GVLV staff with extending leg is used, heighting and contouring can be simplified still further, as the staff zero mark is set to instrument height. The RDS is dual purpose — Self reducing tacheometer plus theodolite. Based on the T 16, the RDS is also a fully-fledged scale reading theodolite for traversing, low-order triangulation, property surveys, engineering and setting-out work. It has an optical plummet and a detachable tribrach. Brochure G 1 301 e.